



SKRIPSI - ME 141501

**OPTIMALISASI PERENCANAAN DAN MANAJEMEN SISTEM
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID DIESEL GENERATOR-
PHOTOVOLTAIC* PADA PERANCANGAN KAPAL TANKER 1700
DWT BERPENGGERAK MOTOR INDUKSI TIGA FASA**

ALI MUSTOFA
NRP 0421134000030

Dosen Pembimbing
Ir. A. A. Masroeri, M. Eng., Dr. Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



SKRIPSI - ME 141501

**OPTIMALISASI PERENCANAAN DAN MANAJEMEN SISTEM
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID DIESEL GENERATOR-
PHOTOVOLTAIC* PADA PERANCANGAN KAPAL TANKER 1700
DWT BERPENGGERAK MOTOR INDUKSI TIGA FASA**

ALI MUSTOFA

NRP 04211340000030

Dosen Pembimbing

Ir. A. A. Masroeri, M. Eng., Dr. Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



BACHELOR THESIS - ME 141501

**OPTIMIZING PLANNING AND MANAGEMENT OF HYBRID POWER
GENERATION SYSTEM DIESEL GENERATOR-PHOTOVOLTAIC IN
DESIGN OF 1700 DWT TANKER SHIP WITH THREE PHASE
INDUCTION MOTOR DRIVE**

ALI MUSTOFA

NRP 04211340000030

Advisor

Ir. A. A. Masroeri, M. Eng., Dr. Eng.

DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMALISASI PERENCANAAN DAN MANAJEMEN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID DIESEL GENERATOR- PHOTOVOLTAIC* PADA PERANCANGAN KAPAL TANKER 1700 DWT BERPENGGERAK MOTOR INDUKSI TIGA FASA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

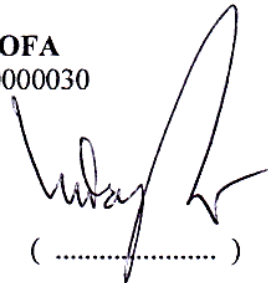
Oleh :

ALI MUSTOFA

Nrp. 04211340000030

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. A. A. Masroeri, M. Eng., Dr. Eng.



(.....)

SURABAYA
JANUARI, 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMALISASI PERENCANAAN DAN MANAJEMEN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID DIESEL GENERATOR- PHOTOVOLTAIC* PADA PERANCANGAN KAPAL TANKER 1700 DWT BERPENGGERAK MOTOR INDUKSI TIGA FASA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

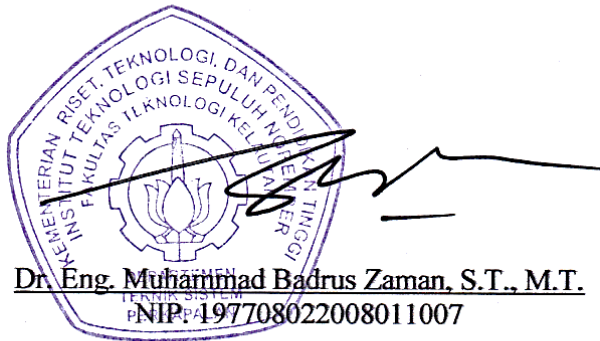
Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ALI MUSTOFA

Nrp. 04211340000030

Mengetahui Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS :



Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**OPTIMALISASI PERENCANAAN DAN MANAJEMEN SISTEM
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID DIESEL GENERATOR-
PHOTOVOLTAIC* PADA PERANCANGAN KAPAL TANKER 1700 DWT
BERPENGGERAK MOTOR INDUKSI TIGA FASA**

Nama Mahasiswa : Ali Mustofa
NRP : 04211340000030
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. A. A. Masroeri, M. Eng., Dr. Eng.

ABSTRAK

Untuk mewujudkan transportasi laut yang rendah polusi, murah dan hemat bahan bakar, maka direncanakan sebuah kapal tanker 1700 DWT dengan sistem propulsi elektrik. Dalam sistem propulsi elektrik ini, akan di gunakan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama. Tujuan dari penggunaan propulsi elektrik adalah untuk mengurangi penggunaan bahan bakar minyak bumi pada *diesel engine*. Untuk mendukung itu semua, direncanakan sebuah sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid diesel generator-photovoltaic* kapal tanker 1700 DWT berpenggerak motor induksi tiga fasa. Selain memanfaatkan energi terbarukan berupa sinar matahari yang sangat besar di indonesia, hal ini juga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar minyak pada *diesel generator*.

Dalam perencanaan sistem pembangkit listrik *hybrid diesel generator-photovoltaic* diperlukan optimalisasi untuk menekan biaya awal sistem dan biaya untuk bahan bakar. Setelah dilakukan optimalisasi berdasarkan simulasi pada Perencanaan Dan Manajemen Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic* pada Perancangan Kapal Tanker 1700 DWT Berpenggerak Motor Induksi Tiga Fasa, maka didapatkan sistem yang paling optimal dengan Net Present Cost yang paling rendah yaitu sebesar \$ 20.295.247,-. Sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* ini terdiri dari 3 unit generator beroperasi, 1 unit generator *stand by* dengan kapasitas masing-masing sebesar 364 kW serta *photovoltaic* berkapasitas 41,54 kW dengan jumlah modul sebanyak 124 modul. Sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* ini mampu menurunkan Net Present Cost sebesar \$ 94.033 jika dibandingkan dengan sistem pembangkit listrik yang hanya menggunakan *diesel generator*. Selain itu sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid diesel generator-photovoltaic* dapat menghemat biaya pengeluaran untuk pembelian bahan bakar yaitu sebesar \$ 162.194,-. Untuk *cargo handling* dan *anchoring* digunakan 1 unit *diesel generator* dengan kapasitas 144 kW.

Kata kunci : optimalisasi, *hybrid, diesel generator, photovoltaic*, motor induksi, kapal tanker

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

OPTIMIZING PLANNING AND MANAGEMENT OF HYBRID POWER GENERATION SYSTEM DIESEL GENERATOR-PHOTOVOLTAIC IN DESIGN OF 1700 DWT TANKER SHIP WITH THREE PHASE INDUCTION MOTOR DRIVE

Name : Ali Mustofa
NRP : 04211340000030
Departement : Marine Engineering
Advisors : Ir. A. A. Masroeri, M. Eng., Dr. Eng.

ABSTRACT

To realize a sea transportation that have low-pollution, low-cost and fuel-efficient, will be planned a 1700 DWT tanker with an electric propulsion system. In this electric propulsion system, will be used three-phase induction motor as the main driver. The purpose of using electric propulsion is to reduce the fuel oil usage in diesel engine. To support it all, will be planned a hybrid power generation system diesel generator-photovoltaic in design 1700 DWT tanker ship with three phase induction motor drive. In addition to utilizing renewable energy like solar radiation that very much in Indonesia, it can also reduce the consumption of fuel oil in diesel generators.

In the planning of a hybrid power generation system diesel generator-photovoltaic is required optimization to reduce initial cost of system and fuel cost. After optimization based on the simulation of planning and management of hybrid power generation system diesel generator-photovoltaic in design 1700 DWT tanker ship with three phase induction motor drive, obtained the most optimal system with the lowest Net Present Cost is \$ 20.295.247,-The hybrid power generation system are consists of 3 units of generator operate, 1 unit generator stand by with each capacity is 364 kW and photovoltaic capacity is 41.54 kW with the number of module are 124 modules. Hybrid power generation system is able to reduce the Net Present Cost is \$ 94.033,- when compared with power generation systems that only use diesel generator. In addition, a hybrid diesel generator-photovoltaic generator system can save the cost of fuel is \$ 162.194,-. For cargo handling and anchoring used 1 unit diesel generator with a capacity is 144 kW.

Keyword : optimizing, hybrid, diesel generator, photovoltaic, induction motor, tanker ship

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Optimalisasi Perencanaan dan Manajemen Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic* pada Perancangan Kapal Tanker 1700 DWT Berpenggerak Motor Induksi Tiga Fasa”.

Dalam proses penyusunan dan pengerjaan tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral yang sangat berarti dari berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada :

1. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya,
2. Bapak Ir. A. A. Masroeri, M. Eng., Dr. Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan ilmu bagi penulis,
3. Bapak Adi Kurniawan, S.T., M.T. atas bimbingan, arahan dan bantuannya bagi penulis dalam pengambilan judul tugas akhir,
4. Bapak Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc. selaku dosen wali, serta bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. selaku Kepala Laboratorium *Marine Electrical and Automation System (MEAS)* yang selalu mendukung dan memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis,
5. Kedua orang tua serta adik atas doa, dukungan berupa moril maupun materiil diberikan selama ini,
6. Keluarga besar Laboratorium *Marine Electrical and Automation System (MEAS)* baik dosen, teknisi maupun *member* yang telah memberikan dukungan dan transfer ilmu selama pengerjaan tugas akhir.
7. Teman-teman Angkatan BARAKUDA 2013, dan pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menyadari bahwa laporan yang telah dikerjakan masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik saran yang membangun bagi penulis. Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 10 Januari 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Pembangkit Listrik	5
2.1.1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga <i>Diesel Generator</i>	5
2.1.2. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga <i>Photovoltaic</i>	5
2.1.3. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid (Diesel Generator-Photovoltaic)</i>	6
2.2 Rangkaian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid (Photovoltaic dan Diesel Generator)</i>	6
2.3. Komponen-komponen Pendukung Sistem Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic Array</i>	7
2.3.1. Generator.....	7
2.3.2. <i>Photovoltaic</i>	10
2.3.3. Battery	13
2.3.4. <i>Bidirectional Converter</i>	14
2.4. Kelebihan dan Kekurangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid (Photovoltaic dan Diesel Generator)</i>	14
2.5. Propulsi Elektrik	15
2.6. Motor Induksi Tiga Fasa	16
2.7. Desain Sistem <i>Hybrid</i> Menggunakan <i>Software HOMER</i>	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Data Kapal.....	23
4.2 Perubahan Konfigurasi Sistem Propulsi	25
4.2.1 Perhitungan Tahanan Kapal	25
4.2.2 Perhitungan Kebutuhan Daya Motor	29

4.3	Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator Photovoltaic	33
4.3.1	Perencanaan Penempatan <i>Photovoltaic</i>	34
4.3.2	Perhitungan Beban Kelitrikan pada Kapal	37
4.3.3	Pemilihan Generator	38
4.3.4	Pemilihan <i>Battery</i>	41
4.4.	Simulasi Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> Menggunakan <i>Software HOMER</i>	41
4.4.1.	Data Radiasi Matahari	41
4.4.2.	Desain Sistem PLTH <i>Diesel Generator-Photovoltaic</i>	43
4.4.3.	Simulasi	43
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	47
DAFTAR	PUSTAKA	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> Sistem Seri.....	6
Gambar 2. 2. Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> Sistem <i>Switch</i>	6
Gambar 2. 3. Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> Sistem Paralel	7
Gambar 2. 4. <i>Diesel Generator Set</i>	8
Gambar 2. 5. Prinsip Kerja Generator	9
Gambar 2. 6. Hubungan Sel Surya, Modul, Array	11
Gambar 2. 7. <i>Monocrystalline Solar Cell</i>	12
Gambar 2. 8. Polycrystalline Solar Cell	12
Gambar 2. 9. Pengembangan dan Peningkatan Efisiensi <i>Photovoltaic</i>	13
Gambar 2. 10. <i>Battery</i>	14
Gambar 2. 11. Skema Sistem Propulsi Elektrik	16
Gambar 2. 12. Rugi-Rugi yang Terjadi pada Sistem Propulsi Elektrik	16
Gambar 2. 13. Motor Induksi Tiga Fasa	17
Gambar 3. 1. Diagram Alur Pengerjaan Skripsi.....	19
Gambar 4. 1. General Arrangement MT. Bumi Etam	24
Gambar 4. 2. LCB Standar	27
Gambar 4. 3. Diagram Blok Sistem Propulsi Elektrik	33
Gambar 4. 4. Perencanaan Peletakan <i>Photovoltaic</i> pada Kapal Bumi Etam	35
Gambar 4. 5. <i>Photovoltaic</i> yang Digunakan dalam Perencanaan	36
Gambar 4. 6. Set point dari data radiasi matahari yang akan digunakan.	42
Gambar 4. 7. Data Radiasi Matahari	42
Gambar 4. 8. Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid Diesel</i> <i>Generator-Photovoltaic</i> pada Software <i>HOMER</i>	43
Gambar 4. 9. <i>Optimization Result 1</i> dari Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> <i>Diesel Generator-Photovoltaic</i>	44
Gambar 4. 10. <i>Optimization Result 2</i> dari Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> <i>Diesel Generator-Photovoltaic</i>	45

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Tabel Performa Propeler pada Kondisi Trial	32
Tabel 4. 2. Tabel Performa Propeler pada Kondisi Trial Service	33
Tabel 4. 3. Total Daya <i>Photovoltaic</i> yang Terpasang pada Kapal Bumi Etam....	36
Tabel 4. 4. Total Kebutuhan Daya pada Kapal Bumi Etam.....	38

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara maritim yang mempunyai lebih dari 17.000 pulau, tentunya Indonesia memerlukan transportasi yang memadai untuk memenuhi kebutuhan dinamis penduduknya. Dalam hal ini transportasi laut lah yang menjadi transportasi utama dalam usaha menghubungkan antar pulau tersebut guna membangun perekonomian bangsa. Sehingga dibutuhkan jumlah kapal yang banyak untuk mencapai tujuan tersebut. Terutama kapal niaga yang digunakan untuk meratakan kesejahteraan penduduknya di seluruh wilayah Indonesia.

Dalam operasionalnya, seluruh kapal di Indonesia masih menggunakan *diesel engine* dengan sumber energi utama yang berasal dari bahan bakar minyak bumi. Tentunya hal ini tidak selaras dengan kebijakan pemerintah mengenai energi. Menurut Dewan Energi Nasional, pada tahun 2015 sekitar 46% energi di Indonesia masih berasal dari minyak bumi. Sedangkan untuk energi ramah lingkungan yaitu energi baru dan terbarukan hanya sekitar 5%. Pemerintah juga berkomitmen dalam pengurangan energi yang berasal dari minyak bumi. Melalui Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang kebijakan energi nasional, bahwa pada tahun 2025 peran energi baru dan terbarukan paling sedikit 23% dan pada tahun 2050 paling sedikit 31% sepanjang keekonomiannya terpenuhi. Untuk mendukung rencana pemerintah untuk mengurangi penggunaan minyak bumi dan di gantikan dengan energi baru dan terbarukan yang ramah lingkungan maka diperlukan dukungan dari semua sektor. Tak terkecuali sektor transportasi laut pada umumnya, dan sektor perkapalan lebih khususnya.

Untuk mewujudkan kapal yang hemat energi dan ramah lingkungan tanpa mengurangi performanya, maka perlu di kembangkan teknologi kapal dengan menggunakan propulsi elektrik dengan motor penggerak berupa motor induksi tiga fasa sebagai pengganti propulsi konvensional yang masih menggunakan *diesel engine*. Motor induksi tiga fasa ini digunakan karena motor ini merupakan motor arus listrik AC yang paling banyak digunakan di dalam dunia industri. Biaya yang relatif murah dan perawatan yang mudah membuat motor ini sangat baik untuk dunia industri. Manfaat lain yang didapat dari penggunaan propulsi elektrik yaitu: fleksibilitas dalam penataan, keberagaman beban antara beban layanan listrik kapal dan beban listrik untuk penggerak kapal, beroperasi dengan ekonomis dengan beban tidak penuh atau sebagian, mudah mengontrolnya, serta memiliki ciri-ciri kebisingan yang rendah. Selain itu motor ini memiliki konstruksi yang kokoh dan sederhana.

Dalam operasionalnya motor ini memerlukan proses *starting, acceleration, running, decelerating*, dan *breaking*, sehingga diperlukan pengaturan kecepatan menggunakan *Variable Speed Drives* pada motor induksi tiga fasa ini. Beberapa penelitian tentang performa sistem kontrol penggerak propulsi dengan *VSD* juga mengembangkan kemampuan kontroler untuk melakukan strategi kontrol untuk

mendapat melakukan optimasi efisiensi daya listrik tanpa mengurangi performa propulsi yang diinginkan (Supari, 2012). Sehingga motor ini sangat memungkinkan untuk digunakan untuk propulsi elektrik pada kapal.

Dengan penggunaan propulsi elektrik tersebut setidaknya kita sudah tidak berorientasi pada bahan bakar minyak. Meskipun dalam menghasilkan listrik untuk menggerakkan propulsi elektrik pada kapal pada saat ini masih menggunakan *diesel engine*. Walaupun demikian, hal ini bukanlah halangan untuk mengembangkan propulsi elektrik pada kapal. Bahkan dengan perkembangan energi baru dan terbarukan saat ini yang sangat digencarkan di seluruh dunia, sangat memungkinkan jika nantinya kapal dengan propulsi elektrik dapat beroperasi menggunakan energi listrik yang berasal dari energi *hybrid* ataupun bahkan hanya menggunakan energi terbarukan.

Energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Banyak sekali macam dari energi terbarukan, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran, terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut. Semua jenis energi terbarukan tersebut harus disesuaikan dengan potensi alam yang ada dari daerah tersebut. Untuk Indonesia sendiri adalah negara tropis yang terletak di garis khatulistiwa bumi, sehingga memiliki potensi berlimpah berupa sinar matahari sepanjang tahun. Indonesia mendapat intensitas radiasi matahari rata-rata harian sekitar 4 kWh/m². Distribusi radiasi matahari dapat dibagi menjadi daerah Barat dan Timur. Klasifikasi ini berdasarkan data radiasi matahari yang dikumpulkan dari 18 lokasi di Indonesia. Distribusi radiasi matahari diperkirakan sekitar 4,5 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 10% untuk Wilayah Barat dan 5,1 kWh/m²/hari dengan variasi sekitar 9% untuk Kawasan Timur (Handayani, 2012). Sedangkan intensitas radiasi matahari rata-rata harian yang diperlukan untuk sebuah *Photovoltaic Power System* yang prospektif sebesar 3,04-7,3 kWh/m² (Shaahid, 2009). Dari potensi alam inilah yang menjadikan alasan untuk mengembangkan potensi energi terbarukan berupa *photovoltaic* atau yang sering disebut dengan sel surya untuk pembangkit listrik tenaga *hybrid diesel generator* dengan *photovoltaic* pada kapal sehingga diharapkan dapat mengurangi penggunaan bahan bakar minyak untuk keperluan operasional *diesel generator* pada kapal. Dalam pengelolaan sistem pembangkit listrik *hybrid* yang melibatkan *photovoltaic* diperlukan perencanaan yang baik, karena sistem *hybrid* ini masih sangat mahal dalam hal investasi awalnya. Oleh karena itu perlu adanya optimalisasi dan manajemen yang baik dalam penerapan sistem pembangkit listrik *hybrid* pada kapal berpenggerak motor induksi tiga fasa ini. Hal yang dianalisa adalah perencanaan konfigurasi yang paling optimal pada pembangkit energi listrik *hybrid* antara sistem pembangkit *diesel generator* dan *photovoltaic* untuk mensuplai kebutuhan listrik ketika kapal sedang beroperasi. Ketidak optimalan pembagian persentase energi listrik yang dibangkitkan sistem pembangkit *hybrid* pada masing-masing sistem, dapat berakibat dengan mahal biaya investasi awalnya jika dibandingkan dengan sistem konvensional. Selain itu juga berakibat dengan mahal biaya operasional akibat dari penggunaan bahan bakar minyak yang banyak.

Setelah diketahui hasil dari manfaat sistem pembangkit listrik *hybrid* dan penggunaan motor induksi tiga fasa dalam penggunaan sistem propulsi elektrik sebagai penggerak utama pada kapal, diharapkan hasil dari penelitian ini dapat membantu dan mengembangkan keilmuan yang berkaitan dengan sistem pembangkit listrik *hybrid diesel generator-photovoltaic* pada dunia maritim di masa yang akan datang. Tentunya hal ini akan mendukung kebijakan pemerintah untuk menciptakan kapal yang handal dan ramah lingkungan serta mengurangi penggunaan bahan bakar minyak bumi untuk sektor transportasi laut. Harapan ke depan seluruh kegiatan operasional perkapalan baik yang ada di Indonesia maupun di seluruh dunia dapat menggunakan sistem tersebut dan semakin di kembangkan lagi. Sehingga secara perlahan kita dapat melepaskan ketergantungan kita dalam penggunaan bahan bakar minyak bumi yang semakin menipis cadangannya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan dari latar belakang di atas, maka didapatkan rumusan permasalahan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:
Bagaimana mengoptimalkan perencanaan dan manajemen sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid diesel generator-photovoltaic* berdasarkan simulasi?

1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, ada beberapa batasan masalah agar pembahasan yang dilakukan dapat terfokus pada tujuannya sekaligus untuk membatasi permasalahan agar tidak terlalu luas. Batasan dari permasalahan dalam skripsi ini antara lain

1. Obyek yang dianalisa dalam tugas akhir ini adalah perencanaan kapal tanker 1700 DWT.
2. Dalam pengerjaan simulasi dalam tugas akhir ini digunakan *software HOMER*.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah:

Mengetahui hasil yang optimal dari perencanaan dan manajemen sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid diesel generator-photovoltaic* berdasarkan simulasi.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari tugas akhir ini secara umum adalah:

1. Dengan merencanakan sebuah sistem pembangkit listrik *hybrid* yang optimal pada kapal, sehingga dapat menekan biaya investasi dan operasional dalam sebuah pembangkit listrik dibandingkan dengan sistem konvensional.
2. Apabila sistem ini dapat di implementasikan sehingga dapat mengurangi penggunaan bahan bakar minyak bumi yang jumlahnya semakin terbatas, mengurangi pencemaran udara akibat penggunaan *diesel engine* pada kapal.
3. Mengembangkan keilmuan di bidang sistem pembangkit listrik *hybrid*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSAKA

2.1 Sistem Pembangkit Listrik

2.1.1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Diesel Generator*

Diesel generator merupakan salah satu pembangkit listrik yang tersusun dari generator listrik (*alternator*) yang berguna untuk membangkitkan energi listrik serta motor penggerak yang berupa *diesel engine* yang mempunyai fungsi sebagai penggerak generator. Dalam operasionalnya, *diesel engine* menggunakan bahan bakar minyak sebagai sumber energinya.

Kelebihan pembangkit listrik tenaga *diesel generator* adalah:

1. Proses pengoperasian yang mudah, hanya membutuhkan sedikit waktu untuk pemanasan, kemudian mesin dapat dibebani.
2. Instalasi yang sederhana sehingga mudah di aplikasikan di mana saja dengan kapasitas yang bisa disesuaikan dengan kebutuhan.
3. Tidak bergantung dengan kondisi alam sekitar, misalkan cahaya matahari atau kecepatan angin.

Kekurangan pembangkit listrik tenaga *diesel generator* adalah:

1. Masih menggunakan bahan bakar minyak bumi.

Dalam perencanaan sistem pembangkit listrik di kapal, pembangkit listrik tenaga *diesel generator* menjadi penyedia kebutuhan listrik utama di kapal. Terkecuali saat kapal terhubung dengan daratan sehingga dapat memperoleh energi listrik dari *shore connection*.

2.1.2. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Photovoltaic*

Pembangkit listrik tenaga *photovoltaic* atau yang biasa di sebut pembangkit listrik tenaga surya merupakan suatu teknologi pembangkit listrik dengan prinsip mengkonversikan energi foton dari cahaya matahari diubah menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada *solar panel* yang terdiri dari *solar cell*. Sel-sel tersebut merupakan lapisan-lapisan tipis yang terbuat dari *silicon* (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya.

Kelebihan pembangkit listrik tenaga *Photovoltaic* adalah:

1. Meningkatkan keandalan sistem dalam memenuhi beban.
2. Meningkatkan ketersediaan energi.
3. Mengurangi emisi dan polusi suara.
4. Menyediakan suplai listrik yang berkelanjutan.
5. Meningkatkan usia operasional sistem.
6. Mengurangi biaya-biaya dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik (Sopian, 2015).

Kekurangan pembangkit listrik tenaga *Photovoltaic* adalah:

1. Dalam pembuatan sistemnya mempunyai biaya awal yang mahal.
2. Memerlukan tempat yang luas dalam pembuatan sistemnya dibandingkan dengan sistem yang lain pada besar daya yang sama.

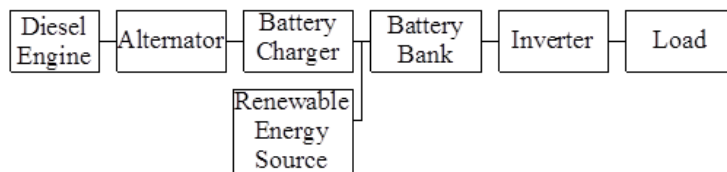
2.1.3. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid (Diesel Generator-Photovoltaic)*

Pembangkit listrik tenaga *hybrid* merupakan penggabungan dari dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Dalam penelitian ini integrasi pembangkit listrik yang dipilih adalah pembangkit listrik konvensional berupa *diesel generator* yang berbahan bakar minyak bumi dengan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan berupa *photovoltaic* atau sel surya.

2.2 Rangkaian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid (Photovoltaic dan Diesel Generator)*

Komponen pembangkit listrik tenaga *hybrid* dapat dirangkai dalam 3 konfigurasi yaitu: (1) *series hybrid system*, (2) *switched hybrid system*, dan (3) *parallel hybrid system* (Nayar, 1993)

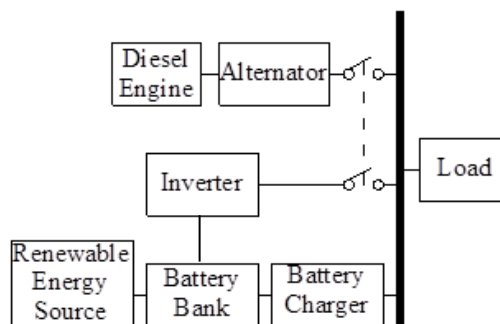
a. Sistem *Hybrid Seri*



Gambar 2. 1. Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Sistem Seri

Gambar 2.1 merupakan rangkaian sistem pembangkit listrik *hybrid* seri. Dalam rangkaian ini kapasitas baterai yang diperlukan untuk menampung listrik sangatlah besar.

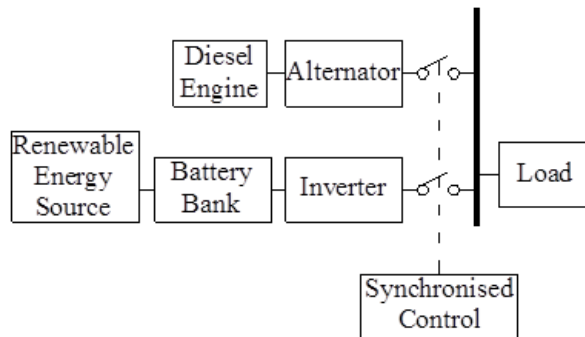
b. Sistem *Hybrid Switch*



Gambar 2. 2. Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Sistem *Switch*

Pada rangkaian switch yang di tunjukkan pada gambar 2.2, tidak ada kontrol optimasi pada diesel. Selain itu beban juga akan bertambah dikarenakan baterai harus di *charge* oleh diesel jika *photovoltaic* tidak maksimal di siang hari

c. Sistem *Hybrid Paralel*



Gambar 2. 3. Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Sistem Paralel

Dari beberapa sistem diatas, sistem paralel yang ditunjukkan pada gambar 2.3 mempunyai kelebihan dibandingkan sistem yang lainnya. Keuntungan menggunakan konfigurasi ini adalah (Nayar, 1993):

1. Beban dapat dipenuhi secara optimal
2. Efisiensi *diesel generator* tinggi
3. Ukuran *diesel generator* dan komponen lain dapat diperkecil sehingga mengurangi biaya investasi
4. Mengurangi penggunaan bahan bakar minyak bumi,
5. Mengurangi ukuran Battery

2.3. Komponen-komponen Pendukung Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic Array*

Suatu sistem Pembangkit Listrik *hybrid* biasanya dibangun dari: (1) *inverter* dengan rating daya kontinyu 60% dari daya beban, (2) satu atau dua mesin dan generator diesel yang biasanya memiliki kapasitas sama hingga 1,5 kali rating daya *inverter* dan dilengkapi sistem kontrol otomatis, (3) sistem penyimpanan yang biasanya berupa bank baterai *lead acid* dengan kapasitas penyimpanan minimum tertentu, (4) sistem pembangkit energi terbarukan seperti *photovoltaic* dilengkapi *regulator*, dan (5) sistem kontrol berbasis mikroprosesor untuk keperluan monitoring dan otomasi manajemen sistem (Sopian, 2005).

2.3.1. Generator

Generator merupakan bagian terpenting dalam sistem pembangkitan daya di kapal. Generator adalah mesin yang dapat mengubah daya mekanis menjadi tenaga listrik. Pembangkit listrik ini terdiri dari kombinasi *diesel engine* dengan generator listrik (*alternator*) seperti yang terlihat pada gambar 2.4. Daya mekanik yang ditransmisikan dapat berupa daya dari *diesel engine*, turbin uap, turbin gas, turbin

air, baling-baling angin, dan lain sebagainya. Generator di kapal umumnya menggunakan *diesel engine* sebagai penggerak utama. Oleh karena itu biasa disebut dengan *diesel generator*. Generator mempunyai peran yang sangat penting bagi kapal, karena kelangsungan sistem akan bergantung pada kinerja generator. Pada saat generator mengalami permasalahan dari dalam generator itu sendiri maupun dari luar, seperti sistem yang dihubungkan maupun penggeraknya maka dapat dipastikan sistem pembangkitan daya listrik akan terganggu. Berikut adalah pembahasan secara umum mengenai generator:

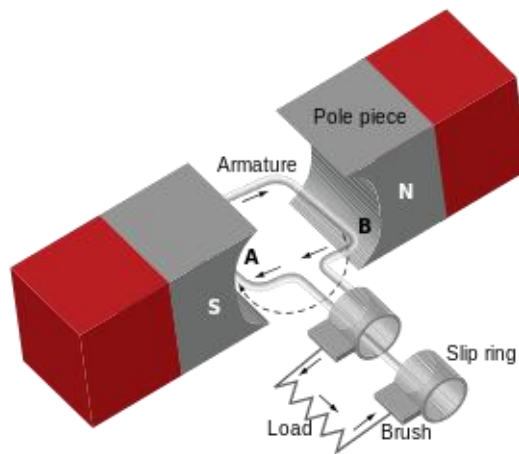


Gambar 2. 4. *Diesel Generator Set*
(Sumber: www.power.cummins.com, 2017)

a. Prinsip Kerja Generator

Generator merupakan mesin listrik yang mentransmisikan daya mekanik menjadi daya listrik dengan landasan Hukum Faraday. Jika pada sekeliling penghantar terjadi perubahan medan magnet, maka pada penghantar tersebut akan dibangkitkan suatu gaya gerak listrik (GGL) yang sifatnya berlawanan terhadap perubahan medan tersebut (Ma'arif, 2011). Faktor-faktor yang menyebabkan timbulnya GGL, yaitu:

1. Daya mekanik yang berasal dari penggerak utama.
2. Arus medan berupa arus DC yang berfungsi untuk membangkitkan medan magnet di kumparan medan.



Gambar 2. 5. Prinsip Kerja Generator

(Sumber: www.sainsjurnal.com)

Prinsip kerja generator secara sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.5. Berikut adalah penjelasan untuk proses pembangkitan daya listrik pada generator, dimana:

I_f = arus medan
 $N; S$ = Magnetic Poles
 ϕ = fluks medan magnet

Pada saat poros generator diputar pada kecepatan nominalnya, dimana putaran poros didapat dari daya mekanik penggerak utamanya, kemudian pada kumparan medan rotor diberikan arus medan sebesar I_f , maka garis-garis fluks yang dihasilkan melalui kutub-kutub inti akan menghasilkan tegangan induksi pada kumparan jangkar stator sebesar:

$$E_a = C.n.\phi$$

dimana,

E_a = tegangan induksi pada kumparan jangkar stator

C = konstanta

n = kecepatan putar

ϕ = fluks yang dihasilkan oleh arus medan

b. Pengaturan Putaran

Putaran merupakan salah satu faktor penting yang memberi pengaruh terhadap tegangan yang dibangkitkan oleh generator. Kecepatan putar akan sebanding dengan frekuensi yang dihasilkan generator. Dalam hal ini rotor sebagai bagian yang bergerak terdiri atas rangkaian elektromagnet dengan arus searah

sebagai sumbernya. Medan magnet pada rotor akan bergerak sesuai dengan arah putar penggerak utamanya. Untuk menjaga putaran agar tetap konstan maka penggerak utama generator perlu dilengkapi *governor*. *Governor* adalah alat pada *diesel engine* yang berfungsi mengatur jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Hal ini dilakukan agar putaran tetap konstan pada keadaan yang bervariasi. Besar kecepatan putar generator dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$n = \frac{120 \times f}{p}$$

dimana,

n = kecepatan putar generator

f = frekuensi

p = jumlah kutub

Pengaturan Tegangan

Tegangan yang dihasilkan generator berbeban dengan generator tanpa beban tentu akan berbeda. Tegangan yang dihasilkan generator berbeban relatif lebih kecil dibandingkan generator berbeban. Selisih antara tegangan berbeban penuh dengan tanpa beban disebut nilai relatif atau *voltage regulation* (VR). Nilai VR dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

dimana,

VR = voltage regulation

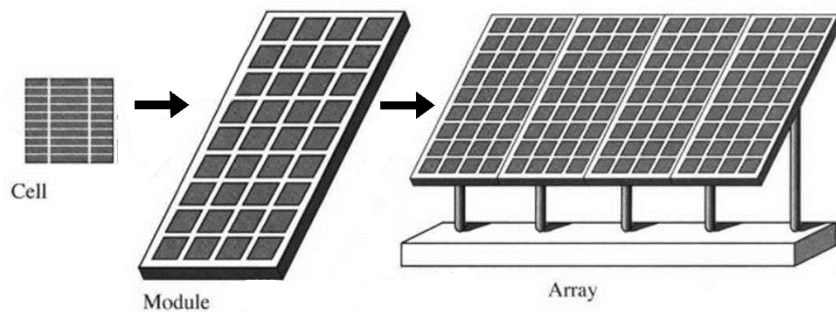
V_{NL} = no load voltage

V_{FL} = full load voltage

Ketika generator beroperasi tentunya generator akan mengalami *drop voltage*. Hal ini disebabkan oleh variasi arus jangkar maupun beban-beban terpasang. *Drop voltage* pada generator dapat diatasi dengan mengatur arus medan atau arus eksitasi yang masuk ke generator. Pengaturan arus eksitasi akan mempengaruhi tegangan yang dihasilkan generator. Ketika arus eksitasi dinaikkan maka tegangan yang dihasilkan generator juga akan naik, begitu juga sebaliknya.

2.3.2. Photovoltaic

Photovoltaic merupakan suatu teknologi pembangkit listrik yang mengkonversikan energi foton dari cahaya matahari menjadi energi listrik. Proses konversi ini terjadi pada *photovoltaic modul* yang terdiri dari *photovoltaic cell* atau biasa disebut sel sel surya. Sel-sel surya ini disusun hingga terbentuk menjadi sebuah *photovoltaic modul*. Dari *photovoltaic modul* di rangkai sehingga terbentuklah sebuah *photovoltaic array*. Hubungan *photovoltaic cell* sampai dengan *array* dapat di lihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6. Hubungan Sel Surya, Modul, Array

c. Prinsip Kerja *Photovoltaic*

Prinsip pemanfaatan energi matahari dengan menangkap cahaya matahari yang mengandung foton atau partikel energi surya yang dikonversi menjadi energi listrik. Energi yang diserap oleh sel surya diserahkan pada electron sel surya untuk dikonversi menjadi energi listrik. Pada sel surya terdapat dua sambungan antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semi konduktor, masing masing lapisan diketahui sebagai semi konduktor jenis P dan semi konduktor jenis N. pada saat foton mengenai sel surya maka energi yang diserap dari foton akan diberikan ke elektron untuk melepaskan diri dari semi konduktor N terlepasnya electron ini meninggalkan *hole* pada daerah yang ditinggalkan oleh electron yang disebut dengan fotogenerasi *electron-hole*. Dikarenakan pada sambungan PN terdapat medan listrik, electron hasil fotogenerasi tertarik kearah semi konduktor N begitu juga dengan *hole* yang tertarik ke arah semi konduktor P. jika kedua semi konduktor tersebut dihubungkan dengan sebuah kabel dan diberi beban akan menghasilkan arus listrik dan mengalir melalui kabel tersebut. (Suriadi, 2010)

d. Jenis-jenis *photovoltaic*

1. *Monocrystalline Solar Cell*

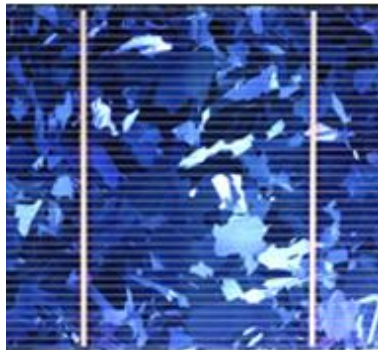
Monokristal merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Contoh panel surya tipe monokristal ditunjukkan oleh Gambar 2.7. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang melimpah atau mendung. Efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2. 7. *Monocrystalline Solar Cell*
(Sumber: www.solar-energy.technology, 2017)

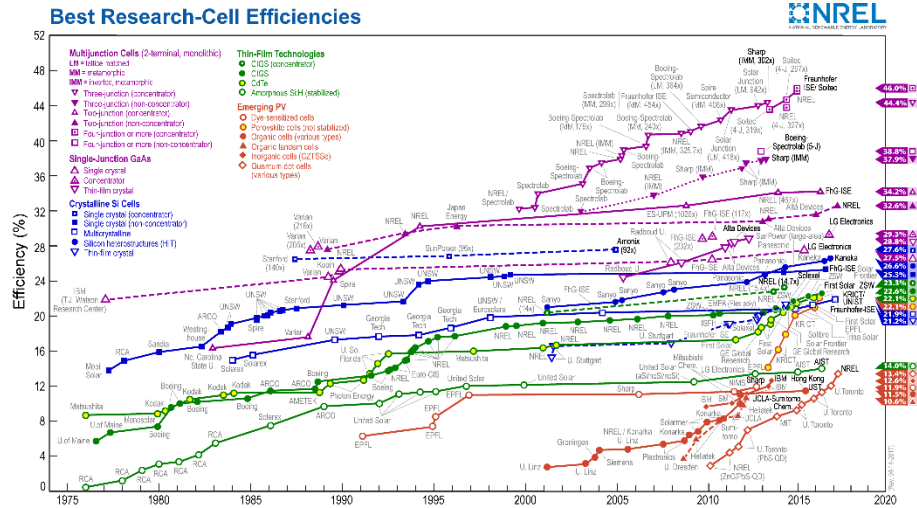
2. *Polycrystalline Solar Cell*

Polikristal merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Tipe Polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung. Gambar 2.8 merupakan contoh *solar cell* tipe polikristal.



Gambar 2. 8. *Polycrystalline Solar Cell*
(Sumber: www.solar-energy.technology, 2017)

Saat ini berbagai pihak sedang bersaing dalam mengembangkan teknologi *photovoltaic*, baik jenis dari *photovoltaic* maupun usaha untuk peningkatan efisiensi, seperti yang terlihat pada gambar 2.9. Hal ini menandakan bahwa kedepannya potensi penggunaan *photovoltaic* sangat menguntungkan.



Gambar 2. 9. Pengembangan dan Peningkatan Efisiensi *Photovoltaic*
(Sumber: www.nrel.gov, 2017)

Beberapa faktor yang mempengaruhi pengoperasian maksimum modul surya yaitu:

1. Temperatur
2. Intensitas Cahaya Matahari
3. Orientasi Rangkaian Modul Surya
4. Sudut Orientasi Matahari (tilt angle)

2.3.3. Battery

Battery adalah sebagai penyimpan energi listrik atau *Energy Storage System* (*ESS*) yang diisi oleh aliran DC dari modul *photovoltaic*. Ukuran kapasitas battery dinyatakan dengan satuan *Ampere-hours* (*Ah*). Pada penelitian ini, jenis rechargeable battery yang digunakan dalam optimalisasi adalah *lead acid battery*. *Battery* ini digunakan untuk menyimpan kelebihan listrik yang di hasilkan pada *photovoltaic* dan digunakan nanti. *Battery* dalam penggunaannya sebagai sumber pembangkit tenaga listrik biasanya hanya sekitar 40%. Hal ini dikarenakan battery merupakan sumber pembangkit tenaga listrik yang tidak bisa dipakai selama 24 jam karena harus mengalami fase *charging* dan *discharging*. Sehingga *battery* bisa dipakai saat beban puncak. Beban puncak pada kapal terjadi selama sekitar 8 jam mulai pukul 18.00 (Putri, 2016). Gambar 2.10 adalah tampilan visual dari *battery*.



Gambar 2. 10. *Battery*
(Sumber: www.discoverbattery.com, 2017)

2.3.4. *Bidirectional Converter*

Bidirectional converter merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengkonversi sumber listrik DC yang dihasilkan dari sumber listrik seperti *photovoltaic* module dan battery, menjadi sumber listrik AC (*inverter*) yang dapat dimanfaatkan sesuai spesifikasi peralatan elektrik AC dan sebaliknya (*rectifier*).

Dalam pemilihan bidirectional converter (*inverter*) sebaiknya kapasitas kerja yang dipilih mendekati kapasitas daya yang dilayani, dengan tujuan agar efisiensi kerja *bidirectional converter (inverter)* menjadi maksimal. Adapun ketentuan rating *bidirectional converter (inverter)* yang digunakan dalam melayani *supply* daya ke beban dari suatu sistem pembangkit tenaga listrik yaitu adanya penambahan sekitar 40% dari kapasitas daya yang akan dilayani.

Pada umumnya efisiensi *bidirectional converter (inverter)* adalah berkisar 50%-90% tergantung dari tipe *bidirectional converter (inverter)* dan beban *output* nya. Bila beban *output* nya semakin mendekati beban kerja *bidirectional converter (inverter)* yang tertera, maka efisiensinya semakin besar, demikian pula sebaliknya.

2.4. Kelebihan dan Kekurangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid (Photovoltaic dan Diesel Generator)*

Beberapa kelebihan yang dapat diperoleh dari konfigurasi sistem pembangkit listrik *hybrid* (Sel Surya dan *Diesel Generator*) ini adalah sebagai berikut (Kunaifi, 2010):

1. Solusi untuk mengatasi krisis bahan bakar minyak bumi
2. Beban listrik dapat dipenuhi secara optimal terutama di daerah-daerah terpencil/pedesaan yang jauh dari jangkauan jaringan listrik
3. Meningkatkan efisiensi ekonomi pembangkit
4. Meningkatkan keandalan (*reliability*) sistem pembangkit
5. Meningkatkan waktu layanan listrik secara ekonomis
6. Meningkatkan umur operasi sistem
7. Tidak menimbulkan polusi dan limbah (ramah lingkungan)

8. Biaya pengoperasian dan pemeliharaannya relatif murah
9. Biaya produksi energi listrik atau *cost of energy* (Rp/kWh) per tahun relatif murah.

Disamping kelebihan-kelebihan tersebut konfigurasi sistem pembangkit listrik *hybrid (Photovoltaic dan Diesel Generator)* juga mempunyai beberapa kekurangan, diantaranya adalah :

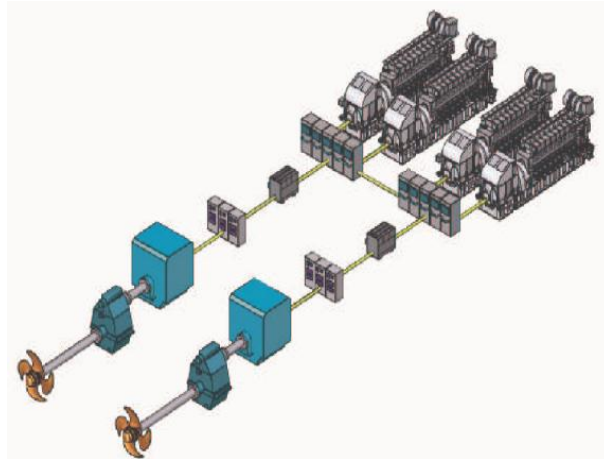
1. Produksi energi baru dan terbarukan sangat tergantung pada siklus alam
2. Biaya investasi awal sistem ini lebih mahal
3. Tidak dapat menangani beban puncak dengan baik tanpa penyimpanan energi.

2.5. Propulsi Elektrik

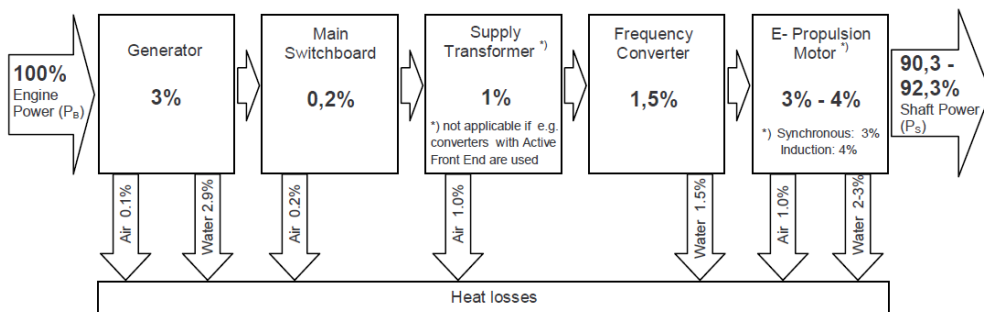
Sistem propulsi elektrik adalah sistem pada kapal yang menggunakan generator set sebagai mesin penggerak menggantikan posisi atau kinerja dari mesin utama, dimana dalam hal ini generator dihubungkan ke switchboar, dan selanjutnya energi atau aliran listrik diteruskan ke transformer, kemudian dikonversi dengan menggunakan konverter ke motor elektrik yang menggerakkan baling-baling kapal.

Sistem propulsi motor listrik sendiri mempunyai banyak keuntungan utama dibandingkan sistem propulsi lain. Keuntungan sistem ini adalah investasi awal yang tidak terlalu besar, menghemat tempat, lebih ringan dan sedikit kehilangan power pada sistem transmisi dibandingkan dengan sistem propulsi tipe lain. Hubungan elektrik antara generator dan motor propulsi lebih leluasa dalam penempatan peralatan dalam ruangan jika dibandingkan dengan sistem propulsi yang lain. Selain itu dapat menggunakan berbagai penggerak utama seperti diesel, turbin gas, turbin uap, dan hasil keluarannya dapat lebih mudah digabung dibandingkan dengan sistem mekanik. Untuk tipe penggerak mula tidak langsung, penggerak elektrik mempunyai keuntungan dapat membalikkan putaran propeller dengan relatif lebih mudah kontrolnya. Dalam beberapa kasus yang masih dalam tahap pengembangan, power yang dibutuhkan oleh propeler dengan menggunakan beberapa penggerak mula dengan tipe medium dan high speed, sistem propulsi elektrik mampu memecahkan persoalan ini tanpa menggunakan kopling mekanik.

Gambar 2.11 menunjukkan tentang skema sistem propulsi elektrik dan pada gambar 2.12 ditunjukkan tentang rugi-rugi yang terjadi pada sistem propulsi elektrik.



Gambar 2. 11. Skema Sistem Propulsi Elektrik

(Sumber: www.marine.man.eu, 2015)

Gambar 2. 12. Rugi-Rugi yang Terjadi pada Sistem Propulsi Elektrik

(Sumber: www.marine.man.eu, 2015)

2.6. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi atau bisa disebut dengan motor asinkron, pada prinsipnya adalah dipengaruhi oleh medan putar, perputaran pada motor induksi (motor AC) ditimbulkan oleh adanya medan putar (Fluk yang berputar) yang dihasilkan oleh kumparan medan pada *stator*. Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Dikatakan sebagai motor induksi karena motor baru bisa bekerja bila konduktor *rotor* terinduksi oleh medan putar magnet pada *stator*. Dikatakan motor asinkron karena motor ini bekerja berdasarkan adanya perbedaan antara putaran medan *stator* (N_s) dan putaran rotor (N_r). Dikatakan motor slip karena motor berputar apabila putaran medan *stator* lebih besar dari pada putaran rotor. Motor induksi atau motor asinkron 3 fasa sistem supplynya adalah supply tegangan 3 fasa (R,S,T). Gambar 2.13 adalah tampilan visual dari motor induksi tiga fasa.



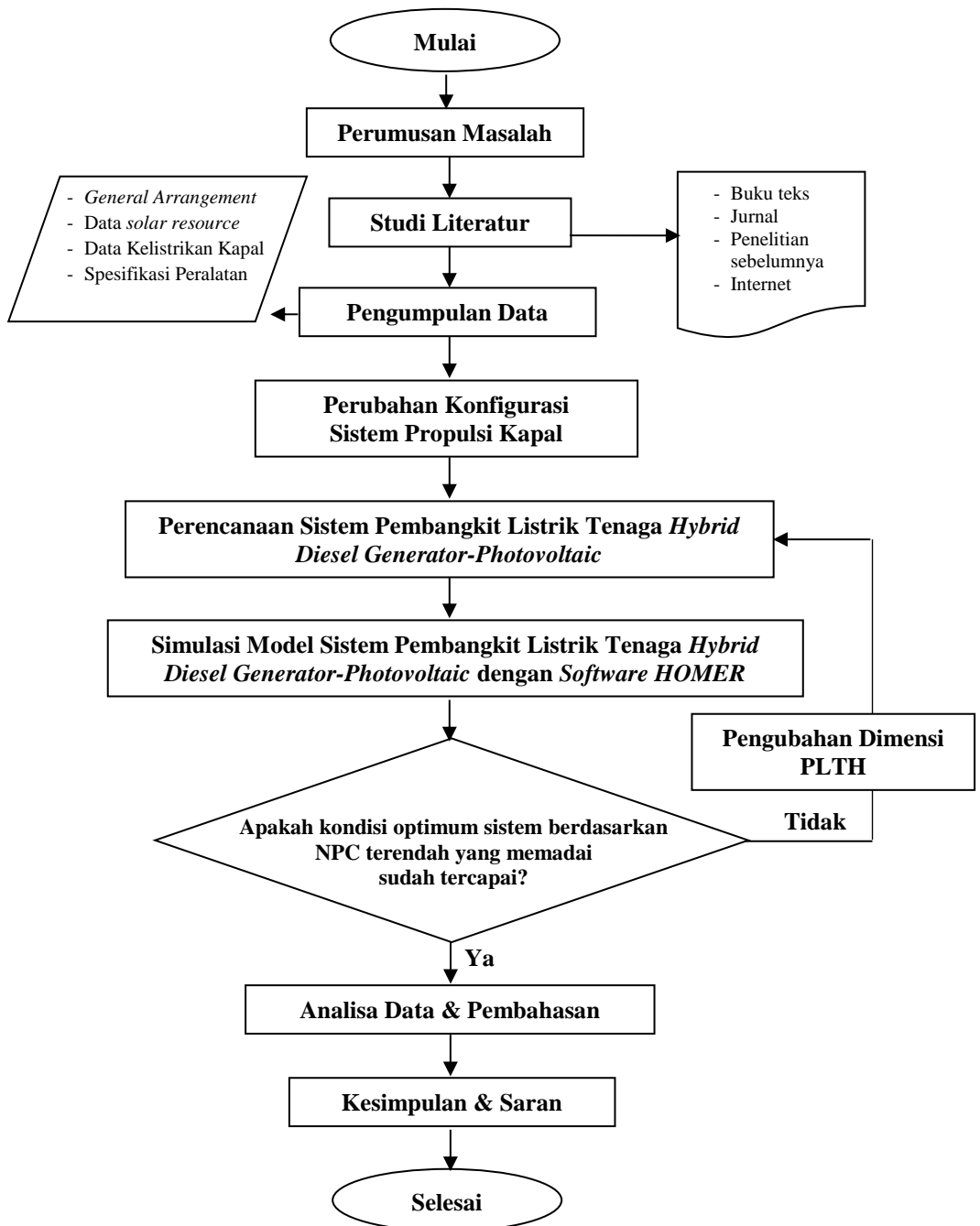
Gambar 2. 13. Motor Induksi Tiga Fasa
(sumber: www.siemens.com, 2015)

2.7. Desain Sistem *Hybrid Menggunakan Software HOMER*

HOMER adalah singkatan dari the *Hybrid Optimisation Model For Electric Renewables*, salah satu software populer untuk desain sistem PLH menggunakan energi terbarukan. *Software HOMER* merupakan sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *The National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, Amerika Serikat. *Software HOMER* merupakan suatu program simulasi untuk mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik stand alone (*off grid*) maupun *grid connected* yang dapat terdiri dari kombinasi pembangkit listrik konvensional dan kombinasi pembangkit sumber energi terbarukan, *battery bank*, *bidirectional converter* serta untuk melayani beban listrik maupun *thermal*. Selain itu *software HOMER* juga berfungsi untuk mempermudah dalam merancang, menganalisa serta mengevaluasi desain sistem pembangkit listrik.. *Software* ini melakukan perhitungan keseimbangan energi untuk setiap konfigurasi sistem yang akan dipertimbangkan. Kemudian menentukan konfigurasi yang layak berdasarkan beban kelistrikan, apakah dapat memenuhi kebutuhan listrik di bawah kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya modal, penggantian, operasi dan pemeliharaan, bahan bakar, dan bunga. *Software HOMER* ini mudah dalam penggunaan, bisa untuk simulasi, mengoptimasi suatu sistem sehingga didapatkan kondisi yang paling optimum dengan biaya *Net Present Cost* terendah, dan dapat memasukkan nilai parameter sensitifitas untuk hasil yang lebih akurat. (*National Renewable Energy Laboratory*, 2015).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODE PENELITIAN



Gambar 3. 1. Diagram Alur Pengerjaan Skripsi

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa langkah yang saling berhubungan seperti yang terlihat dalam Gambar. 3.1. Hal ini untuk mencapai hasil perencanaan yang diinginkan dengan cara yang runtut dan jelas. Untuk itu dibuat metode penelitian yang dijadikan kerangka dasar yang digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian. Kerangka ini berisi tahapan-tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini. Adapun susunan metode penelitian tersebut sebagai berikut:

Identifikasi dan Perumusan Masalah

Tahap ini merupakan tahapan untuk menentukan rumusan masalah yang akan diambil. Hal ini terkait pemecahan dari suatu permasalahan sehingga layak untuk dijadikan bahan untuk tugas akhir. Identifikasi permasalahan dilakukan dengan cara mengetahui karakteristik dari sistem pembangkit listrik konvensional dan sistem pembangkit listrik *hybrid*. Setelah mengetahui perbandingan nilai investasi maupun operasional sistem pembangkit listrik jika diterapkan pada kapal dari sistem konvensional menuju ke sistem *hybrid*, kemudian dicari bagai mana cara untuk mendapatkan sistem *hybrid* yang optimal.

Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari segala informasi, referensi serta teori-teori terkait yang digunakan sebagai dasar dalam membuat konsep dan melakukan perancangan sistem serta dapat menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir. Studi literatur dilakukan dengan cara mengkaji *rules*, paper, buku – buku, terkait judul tugas akhir. Dalam tugas akhir ini referensi yang digunakan berkaitan dengan penggunaan energi terbarukan sebagai pengganti energi bahan bakar fosil, pergantian penggunaan sistem konvensional ke sistem baru yaitu penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid diesel generator-photovoltaic* yang diterapkan pada kapal tanker 1700 DWT sebagai pembangkit energi listriknya..

Pengumpulan Data

Data – data yang diperlukan akan dikumpulkan melalui berbagai referensi yang berkaitan, antara lain sebagai berikut :

1. *General arrangement* dari kapal yang direncanakan
2. Data Kelistrikan di kapal
3. Data *area* kapal berlayar
4. Data pemakaian beban listrik pada kapal
5. Data radiasi harian matahari dari NASA Surface Meteorology and Solar Energy Database (*HOMER data*)
6. Data modul *photovoltaic*
7. Data *battery bank*
8. Data *diesel denerator*
9. Data *bidirectional converter*

Perubahan Konfigurasi Sistem Propulsi

Pada tahap ini akan dilakukan pemilihan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal serta komponen pendukung lainnya yang di perlukan untuk sistem propulsi elektrik.

Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic*

Pada tahap ini akan dilakukan perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid diesel generator-photovoltaic* pada kapal tanker 1700 DWT untuk memperoleh hasil yang optimal dari sebuah sistem pembangkit listrik *hybrid*. Perencanaan ini dilakukan dengan merangkai komponen yang di perlukan dalam sistem dan melengkapi data-data yang di perlukan untuk simulasi. Sebagian data telah ada di dalam *HOMER (HOMER Data)*.

Simulasi Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic* dengan *software HOMER*

Setelah di dapatkan rancangan sistem pembangkit listrik yang akan di terapkan pada kapal, maka dilakukan simulasi. Dalam perencanaan ini digunakan *software HOMER* untuk melakukan simulasi. Simulasi ini dilakukan dengan memasukkan data yang di peroleh dan beberapa paramater yang ada di dalam *software* maupun parameter lain. Parameter ini disesuaikan dengan kondisi lingkungan sekitar perencaaan pembangkit energi listrik ini akan di terapkan. Parameter-parameter dalam sistem *software* ini disebut dengan variabel sensitivitas. Dari simulasi ini akan di dapatkan hasil optimalisasi dari sistem yang di rencanakan baik berupa grafik maupun tabel.

Analisa Data dan Pembahasan

Setelah didapatkan data dari simulasi menggunakan *software HOMER*, maka dilakukan analisa data. Dari hasil yang diperoleh maka dicari sistem yang paling optimal dari beberapa pilihan desain sistem yang optimal yaitu desain sistem dengan *Net Present Cost* terendah dan tentunya dapat di aplikasikan dikapal.

Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan analisa optimalisasi penggunaan pembangkit listrik *hybrid diesel generator-photovoltaic* pada kapal tanker 1700 DWT berpenggerak utama motor induksi tiga fasa maka dapat ditarik kesimpulan dan saran bagi penelitian yang telah dilakukan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Kapal

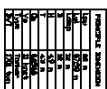
Dalam tugas akhir ini digunakan obyek berupa perencanaan Kapal Tanker 1700 DWT yang gambar general arrangementnya ada pada gambar 4.1. Kapal ini adalah hasil dari Tugas Desain di Depaertemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS dengan dimensi dan data umum kapal sebagai berikut :

Spesifikasi kapal

Nama kapal	: MT. Bumi Etam
Panjang kapal (L_{pp})	: 66 meter
Panjang pada garis air (L_{WL})	: 68 meter
Lebar (B)	: 12 meter
Tinggi geladak (H)	: 4,9 meter
Sarat air (T)	: 4,3 meter
Kecepatan Dinas (vs)	: 11 knot
Rute pelayaran	: Balikpapan-Jakarta

Spesifikasi Main Engine

Merk	: WARTSILA 4L20
Daya	: 800 kW
Putaran	: 1000 Rpm
SFOC	: 197 g/kWh
Berat	: 7200 kg
Bahan bakar	: MDO



Gambar 4. 1. General Arrangement MT. Bumi Etam

4.2 Perubahan Konfigurasi Sistem Propulsi

Dalam tugas akhir ini kapal yang direncanakan dilakukan perubahan pada penggerak utamanya. Sebelumnya kapal ini menggunakan sistem propulsi konvensional yang menggunakan penggerak utama berupa *diesel engine*. Untuk mengurangi penggunaan bahan bakar minyak, maka digunakan sistem propulsi elektrik. Sistem propulsi elektrik ini menggunakan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal. Peran *diesel engine* akan digantikan oleh motor induksi tiga fasa. Untuk itu di perlukan konfigurasi baru dalam sistem propulsi elektrik yang akan di terapkan.

4.2.1 Perhitungan Tahanan Kapal

Perhitungan daya kapal dengan menggunakan Metode Harvald terdiri dari dua komponen tahanan utama, yaitu tahanan pada permukaan kapal diatas sarat air yang dipengaruhi oleh luasan bangunan atas kapal dan tahanan akibat permukaan dibawah sarat air yang dipengaruhi oleh luasan permukaan basah kapal. Tahanan kapal total adalah penjumlahan dari kedua tahanan tersebut. Sedangkan untuk pengaruh yang lain seperti gelombang, kekasaran permukaan dan sebagainya diberikan toleransi pada penambahan *sea margin* dan *engine margin* kapal. Pada perhitungan tahanan kapal, perhitungan rumus persamaan yang digunakan berpedoman pada buku *Tahanan dan Propulsi Kapal (Sv. Harvald)*.

a. Luas Permukaan Basah

Luas permukaan basah kapal dapat dicari dengan menggunakan rumus persamaan 4.1.

$$\begin{aligned} S &= 1,025 \times L_{pp}(C_b \times B + 1,7 T) \\ &= 1,025 \times 66 (0,6966 \times 12 + 1,7 \times 4,3) \\ &= 1060,021 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (4.1)$$

b. Froude Number

Besarnya nilai dari *Froude Number* ini menunjukkan hubungan panjang dengan kecepatan kapal. Semakin besar *Froude Number*, maka semakin besar pula kecepatan kapal tersebut. *Froude number* dapat dicari dengan menggunakan rumus persamaan 4.2.

$$\begin{aligned} Fn &= \frac{V_s}{\sqrt{g \times Lwl}} \\ &= \frac{5,6589}{\sqrt{9,81 \times 67,98}} \\ Fn &= 0,2192 \end{aligned} \quad (4.2)$$

c. Reynold Number

Reynold number digunakan untuk mencari tahanan gesek. *Reynold number* dapat dicari dengan menggunakan rumus persamaan 4.3.

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{V_s \times Lwl}{\nu} \\ &= \frac{5,6589 \times 67,98}{1,18831 \times 10^{-6}} \\ &= 3,2373 \times 10^8 \end{aligned} \quad (4.3)$$

d. Koefisien Tahanan Gesek

Koefisien tahanan gesek dapat dicari menggunakan rumus persamaan 4.4.

$$\begin{aligned}
 C_F &= \frac{0,075}{(\log_{10} Rn - 2)^2} \\
 C_F &= \frac{0,075}{(\log_{10} 3,2373 \times 10^8 - 2)^2} \\
 &= 1,7696 \times 10^{-3} \\
 10^3 C_F &= 1,7696 \\
 C_F &= 0,0017696
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

e. Koefisien Tahanan Sisa

Untuk mencari koefisien tahanan sisa kita gunakan rasio panjang terhadap displacement ($\frac{Lwl}{\nabla^{1/3}}$).

$$\begin{aligned}
 \frac{L}{\nabla^{1/3}} &= \frac{67,98}{2416,5014^{1/3}} \\
 &= 5,066
 \end{aligned}$$

Nilai dari $\frac{Lwl}{\nabla^{1/3}}$ ini akan digunakan untuk menentukan diagram yang akan dipakai pada Diagram Guldhammar dan Harvald yang absisnya berupa *froud number* (Fn) dan garis lengkungnya adalah nilai koefisien prismatic (β). Setelah nilai $\frac{Lwl}{\nabla^{1/3}}$ ditarik garis ke atas maka akan berpotongan dengan garis lengkung β dan Fn sehingga akan didapatkan $10^3 C_r$. Dikarenakan hasil dari perhitungan rasio panjang displacement ($\frac{Lwl}{\nabla^{1/3}}$) adalah 5,066 maka dilakukan interpolasi dengan data dari diagram guldhammer 5,0 dan 5,5.

Sehingga, didapatkan perhitungan interpolasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{(10^3 C_{R(5,0658)} - 1,2)}{(1 - 1,2)} &= \frac{(5,066 - 5,0)}{(5,5 - 5,0)} \\
 10^3 C_{R(5,0658)} &= 1,1737
 \end{aligned}$$

f. Koreksi Tahanan Tambahan pada Tahanan Sisa

1. Koreksi B/T

Diagram guldhammer dibuat berdasarkan perbandingan lebar dengan sarat yaitu 2.5, sedangkan pada kapal ini memiliki nilai perbandingan lebar dan sarat adalah

$$\begin{aligned}
 \frac{B}{T} &= \frac{12}{4,3} \\
 &= 2,791
 \end{aligned}$$

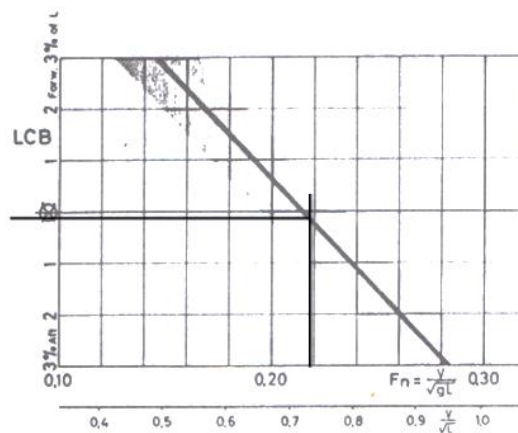
Diketahui perbandingan lebar dan sarat tidak tepat 2,5 sehingga dilakukan koreksi dengan rumus persamaan (4.5).

$$\begin{aligned}
 \frac{B}{T} &= 0,16 \times \left(\frac{B}{T} - 2,5 \right) \\
 \frac{B}{T} &= 0,16 \times \left(\frac{12}{4,3} - 2,5 \right) \\
 \frac{B}{T} &= 0,0465 \\
 10^3 C_R &= 10^3 C_{R(\frac{B}{T}=2,5)} + 0,16 \left(\frac{B}{T} - 2,5 \right) \\
 &= 1,1737 + 0,0465 \\
 &= 1,220 \\
 C_R &= 0,001220
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

2. Koreksi LCB

Koreksi Lcb dilakukan untuk mengetahui penambahan dari koefisien tahanan sisa (C_R) akibat dari penyimpangan letak LCB sebenarnya terhadap LCB standar. LCB sebenarnya terhadap Lpp menurut perhitungan simpson adalah

$$\begin{aligned}
 LCB &= \frac{-0.3988}{L_{pp}} \\
 &= \frac{-0.3988}{66} \\
 &= -0,006 \\
 &= -0,6\%
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 2. LCB Standar

LCB Standar didapat dari Gambar 4.2. Dari grafik ini didapatkan nilai dari LCB standar berdasarkan *Froude Number*, sehingga didapat nilai LCB standar:

$$LCB_{standar} = -0.2\%$$

Dikarenakan LCB sebenarnya terletak dibelakang LCB standar, maka tidak diperlukan koreksi.

g. Tahanan Tambahan

Tahanan tambahan disini diperhitungkan karena pengaruh kekasaran permukaan lambung kapal. Nilai dari tahanan tambahan diberikan berdasarkan panjang kapal ataupun *displacement* kapal. Dalam perhitungan ini, tahanan tambahan di hitung berdasarkan panjang kapal. Kapal yang direncanakan ini mempunyai panjang yaitu sebesar 66 m. Berdasarkan buku Tahanan dan Propulsi Kapal SV. Aa Harvald, hal : 132, maka nilai tahanan tambahan untuk kapal yang mempunyai panjang ≤ 100 m, maka nilai $10^3 C_a = 0,40$

$$\begin{aligned} 10^3 C_a &= 0,04 \\ C_a &= 0,04 / 10^3 \\ &= 0,00004 \end{aligned}$$

h. Tahanan Udara

Tahanan udara disebabkan oleh udara dan angin, besarnya tahanan dipengaruhi oleh luas penampang bentuk kapal di atas garis air, kecepatan dan arah angin. Karena data mengenai angin dalam perancangan kapal tidak diketahui, maka dilakukan koreksi terhadap koefisien tahanan udara.

$$\begin{aligned} 10^3 C_{aa} &= 0,07 \\ C_{aa} &= 0,07 / 10^3 \\ &= 0,00007 \end{aligned}$$

i. Tahanan Kemudi

Tahanan kemudi adalah tahanan yang diakibatkan gerakan daun kemudi untuk mempertahankan kelurusan lintasan kapal.

$$\begin{aligned} 10^3 C_{as} &= 0,04 \\ C_{as} &= 0,04 / 10^3 \\ &= 0,00004 \end{aligned}$$

j. Koefisien Tahanan Total

$$\begin{aligned} C_T &= C_F + C_R + C_A + C_{AA} + C_{AS} \\ &= 1,7696 + 1,2202 + 0,4 + 0,07 + 0,4 \\ &= 0,0017696 + 0,001220 + 0,00004 + 0,00007 + 0,00004 \\ &= 0,003437 \end{aligned}$$

k. Tahanan Total

Tahanan total dihitung dengan rumus persamaan 4.6.

$$\begin{aligned} R_T &= C_T \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times S \\ &= 0,003437 \times \frac{1}{2} \times 1025,87 \times 5,6589^2 \times 1060,021 \\ &= 59843,97 \text{ N} \end{aligned} \tag{4.6}$$

1. Tahanan Total saat Kecepatan Dinas

Karena kapal berlayar dari Kalimantan menuju ke Jakarta yang masih daerah pelayaran Indonesia, maka untuk sea margin dipilih sebesar 15% dari rentang sea margin sebesar 15-20%.

$$\begin{aligned} R_{Tservice} &= R_T + 15\%R_T \\ &= 59843,97 + (15\% \times 59843,97) \\ &= 68820,56 \text{ N} \end{aligned}$$

4.2.2 Perhitungan Kebutuhan Daya Motor

Secara umum kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, maka akan mengalami gaya hambat (*resistance*) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya gaya hambat yang terjadi harus mampu diatasi oleh gaya dorong kapal (*thrust*) yang dihasilkan dari kerja alat gerak kapal (*propulsor*). Daya yang disalurkan ke alat gerak kapal adalah berasal dari Daya Poros, sedangkan Daya Poros sendiri bersumber dari daya keluaran motor penggerak kapal.

Setelah menghitung tahanan kapal, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan kebutuhan daya untuk pemilihan motor listrik sebagai penggerak utama kapal. Perhitungan yang dilakukan yaitu dengan tahap-tahap sebagai berikut:

a. Perhitungan *Effective Horse Power (EHP)*

Daya Efektif atau EHP adalah daya yang diperlukan untuk menggerakkan kapal di air atau untuk menarik kapal dengan kecepatan dinas. EHP dapat dihitung dengan rumus persamaan 4.7

$$\begin{aligned} EHP &= VS \times RT \\ &= 5,654 \times 68,820 \\ &= 389,108 \text{ kW} \end{aligned} \tag{4.7}$$

b. Perhitungan *Delivery Horse Power (DHP)*

Delivery Horse Power (DHP) adalah daya yang diserap oleh propeler dari sistem perporosan atau daya yang dihantarkan oleh sistem perporosan ke propeller untuk diubah menjadi daya dorong (*thrust*). *DHP* dihitung dari perbandingan antara Daya Efektif atau *EHP* dengan Koefisien Propulsif atau PC.

1. Effisiensi Lambung (η_H)

- Menghitung *wake friction (w)*

Wake friction atau arus ikut merupakan perbandingan antara kecepatan kapal dengan kecepatan air yang menuju ke propeller. Dengan menggunakan rumus yang diberikan oleh Taylor pada Buku *Principal of Naval Architecture Vol II*, maka didapat :

$$\begin{aligned} W &= (0.5 \times C_b) - 0.05 \\ &= (0,5 \times 0,69) - 0,05 \\ &= 0,295 \end{aligned}$$

- Menghitung *thrust deduction factor* (t)

$$\begin{aligned}
 t &= k \times w & (4.8) \\
 & \text{(untuk kapal dengan doble plate rudder maka nilai } k \text{ antara 0,7} \\
 & \text{sampai 0,9)} \\
 &= 0,7 \times 0,295 \\
 &= 0.2065
 \end{aligned}$$

Setelah menghitung *wake friction* dan menghitung *thrust deduction factor*, selanjutnya adalah menghitung efisiensi lambung dapat dicari dengan menggunakan rumus persamaan 4.9.

$$\begin{aligned}
 \eta_H &= \frac{1-t}{1-w} & (4.9) \\
 &= \frac{1-0,2065}{1-0,295} \\
 &= 1.1255
 \end{aligned}$$

2. Efisiensi *Relative Rotative* (η_R)

Harga η_R atau efisiensi relatif rotatif untuk kapal dengan propeler tipe single screw adalah berkisar antara 1,02 sampai 1,05, diambil sebesar 1,03.

3. Efisiensi Propulsi (η_0)

Efisiensi Propulsi (η_0) di sini nilainya berkisar antara 40-70%, dan nilai yang digunakan sebesar 55% atau 0,55.

c. Perhitungan *Propulsive Coefficient* (η_D)

Propulsive coefficient didapat diketahui dengan perhitungan menggunakan rumus persamaan 4.10.

$$\begin{aligned}
 \eta_D &= \eta_0 \times \eta_H \times \eta_R & (4.10) \\
 &= 0,55 \times 1,1255 \times 1,03 \\
 &= 0,6376
 \end{aligned}$$

Maka, daya pada tabung poros baling-baling dihitung dari perbandingan antara *EHP* dengan *propulsive coefficient*, yaitu :

$$\begin{aligned}
 DHP &= \frac{EHP}{\eta_D} \\
 &= \frac{389,108}{0,6376} \\
 &= 610,270 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

d. Perhitungan *Shaft Horse Power* (*SHP*)

Untuk kapal yang kamar mesinnya terletak di bagian belakang akan mengalami losses sebesar 2%, sedangkan pada kapal yang kamar mesinnya pada daerah midship kapal mengalami losses sebesar 3% (“*Principal of Naval Architecture* hal 131”). Pada perencanaan ini, kamar mesin terletak dibagian belakang,

sehingga *losses* yang terjadi hanya 2%. Di sini kapal memiliki kamar motor di bagian belakang, harga efisiensi bantalan dan tabung baling - baling atau $\eta_{S\eta B}$ (Efisiensi poros dan baling-baling) adalah 0,98.

$$\begin{aligned} SHP &= \frac{DHP}{\eta_S} \\ &= \frac{610,27}{0,98} \\ &= 622,7245 \text{ kW} \end{aligned}$$

e. Perhitungan BHP_{scr}

BHP_{scr} adalah daya output dari motor penggerak pada kondisi baru *Continues Servis Rating* (SCR). Karena RPM mesin besar maka diperlukan *Gear Box*, sehingga $\eta_G = 0,98$.

$$\begin{aligned} BHP_{SCR} &= \frac{SHP}{\eta_G} \\ &= \frac{622,7245}{0,98} \\ &= 635,433 \text{ kW} \end{aligned}$$

f. Perhitungan BHP_{MCR}

BHP_{MCR} adalah daya keluaran pada kondisi maksimum dari motor induk, dimana besarnya BHP_{scr} = 80% - 85% BHP_{mcr}.

$$\begin{aligned} BHP_{MCR} &= \frac{BHP_{SCR}}{0,85} \\ &= \frac{635,433}{0,85} \\ &= 747,568 \text{ kW} \\ &= 1002,505 \text{ HP} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tahanan dan perhitungan kebutuhan daya motor penggerak diatas, maka dilakukan pemilihan motor induksi dengan spesifikasi sebagai berikut

Spesifikasi Motor Induksi

<i>Manufacture</i>	= ABB
Daya	= 800 kW
Tipe motor	= M3BP 450LC 6
Product Code	= 3GBP453530-•DG
Putaran	= 994 RPM
Efisiensi	= 96,9 (Full Load)
Tegangan	= 380 V
Frekuensi	= 50 Hz
Arus Nominal	= 1469 A
Torsi	= 7682 Nm
Faktor Daya (Cosφ)	= 0,85
Berat	= 4800 kg
Sound Pressure Level	= 81 dB

Dalam perencanaan kapal pada penelitian ini digunakan motor listrik dengan daya yang sama, yaitu sebesar 800 kW. Selain memiliki daya yang sama, motor listrik dan *diesel engine* yang digunakan untuk penggerak propulsi kapal ini memiliki kecepatan putar yang hampir sama. Pada *diesel engine* memiliki kecepatan putar 1000 RPM, sedangkan pada motor listrik induksi tiga fasa memiliki putaran 994 RPM. Untuk itu tidak dilakukan perubahan spesifikasi pada propeler yang digunakan untuk sistem propulsi yang baru, yaitu sistem propulsi elektrik. dengan kecepatan putaran motor penggerak yang tak jauh berbeda, maka digunakan spesifikasi gear box yang sama juga. Adapun data spesifikasi propeler dan gear box yang akan digunakan dalam sistem propulsi elektrik adalah sebagai berikut:

Spesifikasi Propeler

Tipe	= B4-100
P/D	= 0,885
η	= 0,535
Diameter	= 2,098 m

Spesifikasi Gear Box

<i>Manufacture</i>	= ZF
Tipe	= 43100 NR
Power maksimum	= 5012 kW
Rasio	= 3,909
Putaran maksimum	= 1000 RPM
Berat	= 9300 kg

Jika dilakukan konfigurasi antara gear box dengan motor penggerak propulsi, baik motor induksi ataupun *diesel engine* masing-masing memiliki putaran pada propeler sebesar 255,8 RPM dan 254,3 RPM. Sehingga perbedaan putaran keluaran dari masing-masing sistem propulsi hanyalah 1,5 RPM. Dengan spesifikasi propeler yang sama serta putaran propeler yang berbeda sangat kecil antara kedua sistem propulsi, maka karakteristik dari propeler yang digunakan pada sistem propulsi elektrik juga lah sama. Tabel 4.1 dan tabel 4.2 merupakan tabel performa propeler pada kondisi trial dan kondisi servic pada beberapa variasi kecepatan.

Tabel 4. 1. Tabel Performa Propeler pada Kondisi Trial

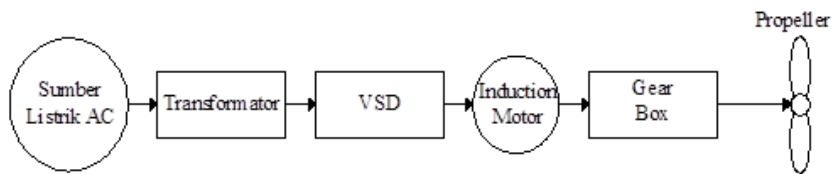
Vs	Va		Nprop		Q	DHP	SHP	BHP scr	BHP mcr
Knot	Knot	m/s	rps	rpm	(Nm)	kW	kW	kW	kW
11,5	8,21	4,22	4,27	256	25789	691,28	719,78	734,47	864,08
11	7,85	4,03	4,08	245	23595	604,97	629,92	642,78	756,21
10,5	7,49	3,85	3,9	234	21499	526,17	547,87	559,05	657,70
10	7,14	3,67	3,71	223	19500	454,53	473,27	482,93	568,15
9,5	6,78	3,48	3,53	212	17599	389,70	405,77	414,05	487,12
9	6,42	3,3	3,34	200	15795	331,35	345,01	352,05	414,18
8,5	6,07	3,12	3,15	189	14089	279,14	290,65	296,58	348,91

Tabel 4. 2. Tabel Performa Propeler pada Kondisi Trial Service

Vs	Va		Nprop		Q	DHP	SHP	BHP scr	BHP mcr
Knot	Knot	m/s	rps	rpm	(Nm)	kW	kW	kW	kW
11,5	8,21	4,22	4,47	268	29134	818,11	834,81	851,84	1002,17
11	7,85	4,03	4,28	257	26656	715,97	745,50	760,71	894,95
10,5	7,49	3,85	4,08	245	24288	622,71	648,39	661,62	778,38
10	7,14	3,67	3,89	233	22030	537,92	560,10	571,53	672,39
9,5	6,78	3,48	3,69	222	19882	461,20	480,22	490,02	576,49
9	6,42	3,3	3,5	210	17844	392,14	408,31	416,65	490,17
8,5	6,07	3,12	3,31	198	15916	330,35	343,97	350,99	412,93

Pada gambar 4.3 digambarkan tentang alur dari sistem propulsi elektrik yang akan diterapkan pada kapal. Sistem ini dimulai dari sebuah sumber tegangan AC sebagai sumber tegangan sistem ini. Digunakan transformator dengan jenis autotrafo untuk kontrol tegangan saat starting. Kemudian untuk memudahkan kontrol putaran maka digunakan *Variable Speed Drive (VSD)*. Kemudian putaran dari mesin pun di transmisikan ke propeller menggunakan poros.

Salah satu kelebihan dari propulsi elektrik adalah mudahnya penataan peralatan di dalam kamar mesin kapal. Salah satunya yang berkaitan dengan peletakan penggerak utama terhadap propeller. Untuk *diesel engine* memerlukan tempat yang besar dalam peletakkannya di kamar mesin, sehingga memerlukan jarak yang cukup panjang untuk poros agar dapat mentransmisikan daya dari *diesel engine* ke propeler. Untuk propulsi elektrik biasanya mempunyai panjang poros yang lebih pendek dibandingkan dengan kapal yang menggunakan propulsi berpenggerak *diesel engine*. Hal ini dikarenakan dimensi dari motor listrik yang lebih kecil dibandingkan dengan *diesel engine*. Sehingga losses akibat poros pun dapat dikurangi.



Gambar 4. 3. Diagram Blok Sistem Propulsi Elektrik

4.3 Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator Photovoltaic

Pada tahap ini akan dilakukan perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid diesel generator-photovoltaic* pada kapal tanker 1700 DWT untuk memperoleh hasil yang optimal dari sebuah sistem pembangkit listrik *hybrid*. Berdasarkan data yang telah diperoleh, direncanakan sistem pembangkit menggunakan *software HOMER*. Perencanaan ini dengan merangkai komponen yang telah ada di dalam *HOMER (HOMER Data)* serta data-data pendukung lain yang diperlukan dalam simulasi.

4.3.1 Perencanaan Penempatan *Photovoltaic*

Perencanaan penempatan *photovoltaic* yang akan dilakukan harus menyesuaikan dengan ketersediaan tempat yang ada di atas kapal berdasarkan General Arrangement gambar 4.1. *Photovoltaic Panel* harus dipasang secara horisontal, karena daya yang dihasilkan oleh modul *photovoltaic* berkurang seiring bertambahnya kemiringan sudut (Lan, 2015). Untuk itu *photovoltaic* dipasang secara horisontal pada *main deck* pada ruang muat dan pada *top deck* seperti yang terlihat pada gambar 4.4

Gambar 4.5 merupakan tampilan visual dari *photovoltaic* yang akan digunakan dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga *hybrid diesel generator-photovoltaic* pada kapal tanker 1700 DWT. Setelah itu didapatkan spesifikasi *photovoltaic* sebagai berikut:



Gambar 4. 5. *Photovoltaic* yang Digunakan dalam Perencanaan
(www.us.sunpower.com)

Spesifikasi *Photovoltaic* (PV)

<i>PV manufacture</i>	: Sun Power
<i>Type</i>	: SPR-X21-335
<i>Nominal Output Power</i>	: 335 W
<i>Rated Voltage</i>	: 57,3 V
<i>Rated Current</i>	: 5,85 A
<i>Efisiensi rata-rata</i>	: 21 %
<i>Size</i>	: 2067 mm x 1046 mm x 46 mm
<i>Berat</i>	: 25,4 kg
<i>Life time</i>	: 25 tahun
<i>Cost of investment</i>	: \$ 1059/kW
<i>Cost of replacement</i>	: \$ 1059/kW
<i>Cost of O&M</i>	: \$ 3/tahun

Berdasarkan spesifikasi yang dipilih dan ketersediaan tempat untuk pemasangan *photovoltaic* pada kapal Bumi Etam sebagaimana terlihat dalam gambar 4.3, maka dapat diketahui daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh *photovoltaic* sesuai dengan perhitungan seperti dalam tabel 4.5.

Tabel 4. 3. Total Daya *Photovoltaic* yang Terpasag pada Kapal Bumi Etam

No	Lokasi	Daya nominal (kW)	Jumlah panel	Total Daya Nominal (kW)
1	Top Deck	0,335	10	3,35
2	Main Deck	0,335	114	38,19
Total			124	41,54

4.3.2 Perhitungan Beban Kelistrikan pada Kapal

Karakteristik profil beban sangat penting dalam perencanaan sistem pembangkit listrik pada kapal. Kondisi beban di kapal yang hampir selalu beroperasi perlu dimonitor agar tidak terjadi *overload* atau kelebihan beban yang berakibat generator mengalami *trip*. Berdasarkan perencanaan, kondisi operasi kapal yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah pada kondisi berlayar, *manoeuvring*, *cargo handling*, *maneuvering* dan *anchoring*. Macam-macam kondisi operasi kapal akan mempengaruhi *load factor*, dimana *load factor* itu sendiri merupakan perbandingan antara daya rata-rata dengan kebutuhan daya untuk kondisi operasi maksimal. Semakin sering peralatan kelistrikan itu bekerja maka semakin tinggi pula nilai *load factornya*. Nilai *load factor* suatu peralatan kelistrikan berkisar antara 0 sampai dengan 1. Semakin jarang peralatan tersebut beroperasi maka nilai *load factornya* semakin mendekati 0. Sedangkan peralatan yang sifatnya beroperasi secara kontinyu maka nilai *load factornya* semakin mendekati 1.

Untuk itu perlu diketahui perlengkapan apa saja yang terpasang di kapal serta *load factor* dari masing masing peralatan. Sehingga dapat di ketahui beban yang harus di penuhi oleh sistem pembangkit listrik. Berdasarkan data peralatan kelistrikan yang digunakan pada perencanaan kapal ini, maka dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan beban total yang akan di tanggung oleh generator sebagai sumber daya kelistrikan utama.

Nilai beban setiap peralatan kelistrikan pada kapal dapat dibagi menjadi 2 yaitu *continuous load* (CL) dan *intermittent load* (IL). *Continuous load* adalah beban peralatan yang dalam pengoperasiannya secara berkesinambungan pada kondisi pelayaran normal kapal tersebut. Yang termasuk peralatan ini antara lain lampu-lampu penerangan, sistim pendingin ruangan, pompa. Adapun *intermittent load* adalah peralatan yang dalam operasionalnya tidak secara rutin pada kondisi pelayaran normal kapal tersebut tetapi periodik dengan periode waktu yang tidak tetap seperti : pompa bilga, pompa pemadam kebakaran, pompa air tawar. Nilai Beban ini bergantung dari jumlah dan frekuensi kerja peralatan tersebut. Besarnya daya rata-rata yang akan disuplai generator ke peralatan kelistrikan tiap kondisi operasi akan bergantung pada daya input dan besarnya *load factor* peralatan tersebut. Nilai CL dan IL dapat dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$CL = LF \times n \times \text{Daya Input}$$

$$IL = LF \times n \times \text{Daya Input}$$

dimana,

CL = *continuous load*

IL = *intermittent load*

LF = *load factor*

n = jumlah item yang bekerja

Daya Input = daya masukan peralatan kelistrikan

Untuk perhitungan *intermittent load*, harus di kalikan dengan *diversity factor*. *Diversity factor* merupakan faktor kesamaa rataan yang ditetapkan dengan

pertimbangan beban tertinggi diharapkan dapat terjadi pada waktu yang sama. Nilai dari *diversity factor* diambil 0,6.

4.3.3 Pemilihan Generator

Dalam pemilihan generator pada sistem yang baru, tetap dilakukan dengan estimasi sistem pembangkit listrik hanya menggunakan *diesel generator* saja. Hal ini dilakukan agar kapal tetap dapat beroperasi meskipun pembangkit listrik dari *photovoltaic* tidak beroperasi karena tidak tersedianya sinar matahari, yaitu ketika malam hari ataupun ketika sinar matahari terhalang oleh awan.

Pemilihan ini dilakukan dengan cara memilih generator yang memiliki *load factor* generator terhadap daya total pada kapal disetiap kondisi operasi kapal. *Load factor* yang disarankan tidak kurang dari 75% dan tidak lebih dari 86%. Nilai *load factor* generator dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$LF = \frac{\text{Total daya}}{Q} \times 100\%$$

dimana ,

LF = *load factor* generator

Q = kapasitas total daya gen. yang beroperasi

Hasil perhitungan estimasi beban peralatan kelistrikan yang digunakan pada kapal dapat dilihat pada tabel 4.4. Pada Tabel 4.4. juga di tunjukkan perbedaan beban pada masing-masing kondisi operasi kapal tanker. Analisa beban kelistrikan pada kapal yang direncanakan adalah beban motor listrik untuk propulsi utama kapal, beban peralatan, permesinan bantu yang terpasang di kapal pada kondisi operasi *sailing*, *maneuvering*, *cargo handling* dan *anchoring*.

Tabel 4. 4. Total Kebutuhan Daya pada Kapal Bumi Etam

No.	Item	S*	M*	CH*	A*
1	Continous Load (Kw)	872,83	872,98	91,29	66,53
2	Intermittent (Kw)	37,52	37,06	47,78	35,41
3	Diservity factor (0,6)	22,51	22,24	28,67	21,25
4	Total Load (kW)	895,34	895,21	119,96	87,78
5	Jumlah Generator	4	4	1	1
6	<i>Running Generator</i>	3	3	1	1
7	Kapasitas Generator (kW)	364	364	144	144
8	Available Power (kW)	1092	1092	144	144
9	Load Faktor	81,99	81,98	83,30	60,96

Keterangan:

S* = *sailing*

CH* = *cargo handling*

M* = *maneuvering*

A* = *anchoring*

Kondisi *Sailing*

$$\begin{aligned}
 \text{CL} &= \text{Machinery (CL)} + \text{Hull (CL)} + \text{Elect. (CL)} \\
 &= 847,32 + 14,55 + 10,96 \\
 &= 872,83 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{IL} &= \text{Machinery (IL)} + \text{Hull (IL)} + \text{Elect. (IL)} \\
 &= 36,08 + 0 + 1,44 \\
 &= 37,52 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Kondisi *Maneuvering*

$$\begin{aligned}
 \text{CL} &= \text{Machinery. (CL)} + \text{Hull (CL)} + \text{Elect. (CL)} \\
 &= 847,32 + 14,55 + 11,1 \\
 &= 872,98 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{IL} &= \text{Machinery (IL)} + \text{Hull (IL)} + \text{Elect. (IL)} \\
 &= 36,08 + 0 + 0,98 \\
 &= 37.06 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Kondisi *Cargo handling*

$$\begin{aligned}
 \text{CL} &= \text{Machinery (CL)} + \text{Hull (CL)} + \text{Elect. (CL)} \\
 &= 57,89 + 25,14 + 8,25 \\
 &= 91,29 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{IL} &= \text{Machinery (IL)} + \text{Hull (IL)} + \text{Elect. (IL)} \\
 &= 47,78 + 0 + 0 \\
 &= 47,78 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Kondisi *Anchoring*

$$\begin{aligned}
 \text{CL} &= \text{Machinery (CL)} + \text{Hull (CL)} + \text{Elect. (CL)} \\
 &= 8,46 + 44,93 + 13,15 \\
 &= 66,53 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{IL} &= \text{Machinery (IL)} + \text{Hull (IL)} + \text{Elect. (IL)} \\
 &= 35,41 + 0 + 0 \\
 &= 35.41 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Shore Connection

$$\begin{aligned}
 \text{P} &= 100\% \text{ total load CH} + 15 \% \text{ total load CH} \\
 &= 1.15 \times \text{total load CH} \\
 &= 1.15 \times (\text{CL} + (0,6 \times \text{IL})) \\
 &= 1.15 \times (91,29 + (0,6 \times 47,78)) \\
 &= 1.15 \times (91,29 + 28,67) \\
 &= 1.15 \times 119,96 \\
 &= 137,95 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka dilakukan pemilihan generator yang di gunakan untuk memenuhi kebutuhan propulsi elektrik dan beban yang ada pada

perencanaan kapal tanker 1700 DWT ini. Saat kondisi *sailing* dan *maneuvering* digunakan sebanyak 3 generator beroperasi dan 1 generator *stand by* dengan kapasitas masing-masing 364 kW. Power yang di hasilkan dari 3 generator yang beroperasi ini digunakan untuk menggerak kan motor penggerak utama kapal yang berupa motor induksi tiga fasa dan beban untuk keperluan operasional di kapal. Untuk keperluan *cargo handling* dan *anchoring* digunakan 1 generator yang beroperasi dengan kapasitas 144 kW. Dalam pemilihan generator untuk *cargo handling* dan *anchoring* digunakan generator yang mempunyai kapasitas yang lebih kecil. Hal ini dilakukan karena load factor dari generator yang sangat kecil jika tetap digunakan generator yang sama untuk keperluan *sailing* dan *maneuvering* yaitu sebesar 0,329 saat *cargo handling* dan 0,241 untuk *anchoring*.

Berdasarkan perhitungan kebutuhan daya listrik yang ada pada kapal, maka didapatkan generator dengan spesifikasi sebagai berikut :

Spesifikasi Generator 1, 2, 3, 4

D/G Manufacture	: Perkins
Type	: 2506A-E15TAG1
Daya	: 364 kW
<i>Fuel Consumption</i>	: 95 l/jam
Frekuensi	: 50 Hz
Putaran	: 1500 Rpm
Jumlah unit	: 4 Unit
<i>Cost of investment</i>	: \$ 160/kW
<i>Cost of replacement</i>	: \$ 140/kW
<i>Cost of O&M</i>	: \$ 0,05/jam

Spesifikasi Generator untuk *Cargo Handling*

D/G Manufacture	: Perkins
Type	: 1106C-E66TAG4
Daya	: 144 kW
<i>Fuel Consumption</i>	: 31 l/jam
Frekuensi	: 50 Hz
Putaran	: 1500 Rpm
Jumlah unit	: 1 Unit
<i>Cost of investment</i>	: \$ 160/kW
<i>Cost of replacement</i>	: \$ 140/kW
<i>Cost of O&M</i>	: \$ 0,05/jam

(Sumber: www.americasgenerator.com)

4.3.4 Pemilihan *Battery*

Dalam optimalisasi perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* berdasarkan simulasi, maka dipilih *lead-acid battery* sebagai *Energy Storage System (ESS)*. Dalam tulisan ini, *lead-acid battery* mempunyai fungsi yaitu menyimpan power yang berlebih dari photovoltaic. Dengan bantuan *battery*, sistem pembangkitan PV, bersama dengan ESS, mempertahankan daya keluaran yang stabil. Namun kelemahan dari penggunaan *battery* adalah biaya investasi yang mahal. Untuk itu perlu dilakukan optimalisasi menggunakan *software HOMER*. Adapun spesifikasi *battery* yang dipilih dalam perencanaan sistem ini adalah sebagai berikut:

Spesifikasi Baterai

<i>Manufacture</i>	: Discover Battery
<i>Type</i>	: <i>lead-acid battery</i>
<i>Nominal Voltage</i>	: 12 V
<i>Nominal Capacity</i>	: 2,94 kWh
<i>Maximum Capacity</i>	: 245 Ah
<i>Life time</i>	: 18 tahun
<i>Cost of investment</i>	: \$ 142,04/kW
<i>Cost of replacement</i>	: \$ 142,04/kW
<i>Cost of O&M</i>	: \$ 10/tahun

4.4. Simulasi Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Menggunakan *Software HOMER*

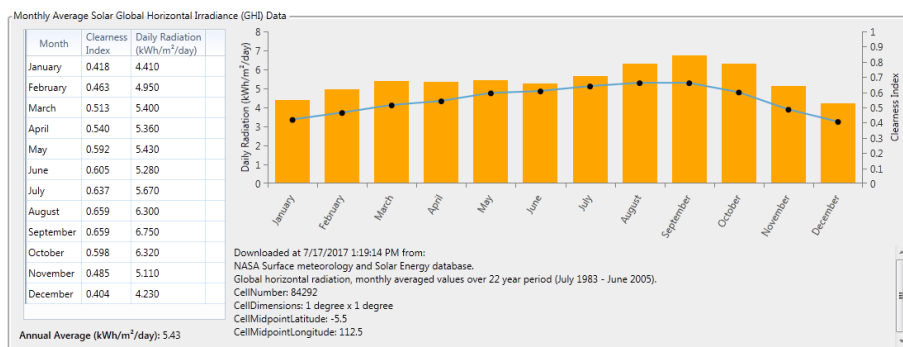
4.4.1. Data Radiasi Matahari

Dalam simulasi ini diperlukan data radiasi matahari sesuai dengan tempat dimana kapal paling sering beroperasi. Data *Surface Meteorology And Solar Energy (SMSE)* dari National Aeronautics and Space Administration (NASA) telah digunakan sebagai sumber informasi radiasi matahari pada simulasi ini. Database NASA SMSE berasal dari parameter meteorologi dan energi matahari yang dicatat selama 22 tahun oleh lebih dari 200 satelit. Di antara 12 parameter yang tersedia, untuk proyek ini hanya intensitas radiasi matahari pada permukaan horizontal dan clearness index yang digunakan.

HOMER mempunyai tools yang bisa langsung mengakses intensitas matahari berdasarkan titik koordinat. Data radiasi matahari yang di dapat berdasarkan titik koordinat yang telah di set. Berdasarkan desain, kapal ini beroperasi hanya di Indonesia, khususnya Kalimantan-Jawa. Sehingga *set point* yang di ambil adalah Laut Jawa yaitu pada koordinat 5°4,1' LS, 112°9,6' BT seperti yang terlihat pada Gambar 4.6.



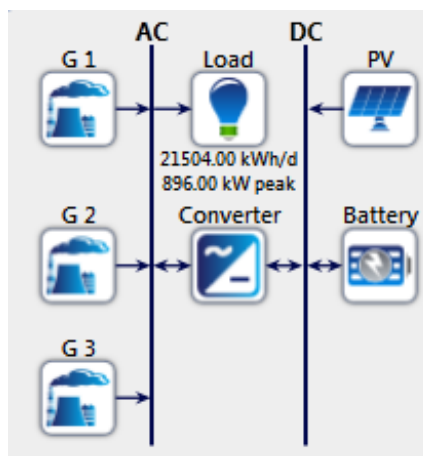
Gambar 4. 6. Set point dari data radiasi matahari yang akan digunakan.



Gambar 4. 7. Data Radiasi Matahari

Dari set point yang telah dilakukan dalam *software HOMER*, maka didapat data radiasi matahari dari *NASA Surface Meteorology and Solar Energy Database* seperti yang terlihat pada gambar 4.7. Data radiasi matahari ditunjukkan pada sumbu Y sebelah kiri dan *clearness index* dari radiasi matahari ditunjukkan pada sumbu Y sebelah kanan. Hal ini ditunjukkan dengan jelas bahwa radiasi matahari yang tinggi (di atas rata-rata) ada pada bulan Juli-Oktobre dengan puncak pada bulan September. Sementara radiasi matahari yang rendah ada pada bulan November, Desember, Januari, Februari.

4.4.2. Desain Sistem PLTH *Diesel Generator-Photovoltaic*



Gambar 4. 8. Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic* pada *Software HOMER*

Gambar 4. 8. Merupakan model pembangkit listrik tenaga *hybrid* antara 3 *diesel generator* yang beroperasi dengan *photovoltaic array*. Dalam sistem ini digunakan rangkaian *parallel* untuk menghubungkan kedua sistem pembangkit listrik *hybrid* dengan beban utama. Karena untuk optimalisasi sebuah sistem pembangkit listrik *hybrid*, sistem ini lah yang mempunyai keuntungan terbesar. Dalam perencanaannya sistem ini disimulasikan untuk jangka waktu 25 tahun.

4.4.3. Simulasi

a. Simulasi 1

Dalam simulasi 1 ini, digunakan konfigurasi sistem pembangkit listrik *hybrid* seperti pada gambar 4.8. Jumlah generator yang dioperasikan adalah 3 buah generator. Untuk kapasitas *photovoltaic* dan *battery storage* akan ditentukan setelah dilakukan simulasi menggunakan *software HOMER*. Simulasi dijalankan setelah memasukkan data yang perlukan dalam simulasi yaitu data yang diperoleh baik dari spesifikasi peralatan, harga peralatan, biaya perawatan, harga bahan bakar dan data radiasi matahari

Dari simulasi 1 ini didapatkan *optimization result 1* dari pembangkit listrik tenaga *hybrid diesel generator-photovoltaic* seperti yang terlihat dalam gambar 4.9. :

Optimization Results												
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.												
Architecture										Cost		
	PV (kW)	G 1 (kW)	G 2 (kW)	G 3 (kW)	12VRE-3000TF-L	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	
	4,371	360	360		7,531	1,427	LF	\$0.0975	\$13.8M	\$414,723	\$6.12M	
	4,371	360		360	7,531	1,427	LF	\$0.0975	\$13.8M	\$414,723	\$6.12M	
	4,371		360	360	7,531	1,427	LF	\$0.0975	\$13.8M	\$414,723	\$6.12M	
	4,634	360	360	360	7,843	1,024	LF	\$0.0976	\$14.3M	\$421,505	\$6.41M	
	5,326	360			14,404	1,195	LF	\$0.103	\$14.4M	\$345,362	\$8.00M	
	5,326		360		14,404	1,195	LF	\$0.103	\$14.4M	\$345,362	\$8.00M	
	5,326			360	14,404	1,195	LF	\$0.103	\$14.4M	\$345,362	\$8.00M	
	6,539				13,546	1,119	CC	\$0.108	\$15.1M	\$323,178	\$9.09M	
	2,319	360	360	360		1,061	CC	\$0.117	\$17.1M	\$764,850	\$2.85M	
		360	360	360			CC	\$0.140	\$20.4M	\$1.09M	\$174,720	
		360	360	360	95	3.50	LF	\$0.140	\$20.4M	\$1.09M	\$188,949	

Gambar 4. 9. *Optimization Result 1* dari Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic*

Dalam simulasi 1 menggunakan *software HOMER*, diperoleh hasil konfigurasi sistem pembangkit listrik *hybrid* yang paling optimal berdasarkan NPC yang paling rendah sebagai berikut:

Kapasitas <i>Photovoltaic</i>	= 4.371 kW
<i>Diesel Generator</i>	= 2 buah
Jumlah <i>Battery</i>	= 7531 buah
<i>Initial Capital</i>	= \$ 6.117.511,-
<i>Cost of O&M</i>	= \$ 2.398.736,-
Diesel fuel	= \$ 3.308.739,-
Total NPC	= \$ 13.832.928,-

(Diasumsi harga bahan bakar adalah \$ 0,48/l)

Pada simulasi 1 ini dihasilkan konfigurasi sistem pembangkit listrik yang mempunyai NPC yang paling rendah berdasarkan beban yang ada di kapal yang sedang direncanakan yaitu sebesar \$ 13.832.928,-. Nilai ini jauh dibawah nilai NPC pada sistem pembangkit yang hanya menggunakan diesel generator saja yang mempunyai nilai NPC \$ 20.186.155,-. Namun simulasi 1 ini tidak memungkinkan untuk di aplikasikan pada kapal yang sedang direncanakan. Hal ini dikarena kapasitas *photovoltaic* yang seharusnya terpasang adalah 4.371 kW. Sedangkan kapasitas *photovoltaic* dapat terpasang di kapal hanya 41,54 kW. Sehingga harus dilakukan simulasi yang kedua. Dalam simulasi yang kedua, sistem pembangkit *hybrid* ini direncanakan untuk hanya menggunakan seluruh kapasitas *photovoltaic* yang dapat dipasang di kapal.

b. Simulasi 2

Dikarenakan hasil optimalisasi 1 yang tidak dapat diaplikasikan pada kapal yang sedang direncanakan, maka dilakukan simulasi yang ke 2. Dalam simulasi 2 ini, digunakan konfigurasi sistem pembangkit listrik *hybrid* seperti pada gambar 4.9. Jumlah generator yang dioperasikan adalah 3 buah generator. Untuk kapasitas *photovoltaic* dalam simulasi 2 ini akan digunakan seluruh

kapasitas photovoltaic yang dapat terpasang di kapal yaitu sebesar 41.54 kW. Sedangkan untuk kapasitas battery storage akan ditentukan setelah dilakukan simulasi menggunakan *software HOMER*. Simulasi dijalankan setelah memasukkan data yang perlukan dalam simulasi yaitu data yang diperoleh baik dari spesifikasi peralatan, harga peralatan, biaya perawatan, harga bahan bakar dan data radiasi matahari

Dari simulasi 2 ini didapatkan *optimization result 2* dari pembangkit listrik tenaga *hybrid diesel generator-photovoltaic* seperti yang terlihat dalam gambar 4.10. :

Optimization Results													
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.													
Architecture										Cost			
		PV (kW)	G 1 (kW)	G 2 (kW)	G 3 (kW)	12VRE-3000TF-L	Converter (kW)	Dispatch		COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)
		41.5	360	360	360		42.0	CC		\$0.139	\$20.3M	\$1.08M	\$227,560
		41.5	360	360	360	190	49.0	LF		\$0.139	\$20.4M	\$1.08M	\$256,018
			360	360	360			CC		\$0.140	\$20.4M	\$1.09M	\$174,720
			360	360	360	95	3.50	LF		\$0.140	\$20.4M	\$1.09M	\$188,949

Gambar 4. 10. *Optimization Result 2* dari Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic*

Dalam simulasi 2 menggunakan *software HOMER*, diperoleh hasil konfigurasi sistem pembangkit listrik *hybrid* yang paling optimal berdasarkan NPC yang paling rendah sebagai berikut:

Kapasitas *Photovoltaic* = 41,54 kW
Diesel Generator = 3 buah
Initial Capital = \$ 227.560,-
Cost of O&M = \$ 39.179,-
 Diesel fuel = \$ 20.023.961,-
 Total NPC = \$ 20.295.247,-

(Diasumsi harga bahan bakar adalah \$ 0,48/l)

Dalam hasil simulasi 2 ini juga terlihat hasil dari konfigurasi sistem Pembangkit Listrik yang hanya menggunakan generator saja untuk memenuhi beban kelistrikan. Adapun rinciannya adalah sebagai berikut:

Diesel Generator = 3 buah
Initial Capital = \$ 174.720,-
Cost of O&M = \$ 24.445
 Diesel fuel = \$ 20.186.155,-
 Total NPC = \$ 20.385.280,-

(Diasumsi harga bahan bakar adalah \$ 0,48/l)

Pada simulasi 2, didapatkan *Optimization Result 2* seperti yang terlihat pada gambar 4.10, bahwa sistem pembangkit *hybrid* paling optimal berdasarkan Net Present Cost yang paling rendah yaitu sebesar \$ 20.295.247,- mempunyai konfigurasi sistem pembangkit listrik *hybrid* dengan 3 *diesel generator* beroperasi dan kapasitas *photovoltaic* yang terpasang pada kapal adalah 41,54 kW. Jika dibandingkan dengan sistem pembangkit listrik yang hanya menggunakan *diesel generator* saja, maka sistem pembangkit listrik *hybrid diesel generator-photovoltaic* ini mempunyai nilai Net Present Cost yang lebih kecil. Selisih Net Present Cost dari kedua sistem sebesar \$ 94.033,-. Selain itu sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid diesel generator-photovoltaic* dapat menghemat biaya pengeluaran untuk pembelian bahan bakar yaitu sebesar \$ 162.194,-.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi menggunakan *software HOMER* versi 3.8.0 untuk mendapatkan Optimalisasi Perencanaan Dan Manajemen Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic* pada Perancangan Kapal Tanker 1700 DWT Berpenggerak Motor Induksi Tiga Fasa, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa dari sistem ini diperoleh suatu perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid diesel generator-photovoltaic* yang paling optimal dengan *Net Present Cost* paling rendah yaitu sebesar \$ 20.295.247,- Sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* ini terdiri dari 3 unit generator beroperasi dan 1 *stand by* dengan kapasitas masing-masing sebesar 364 kW serta *photovoltaic* berkapasitas 41,54 kW dengan jumlah modul sebanyak 124 modul. Sistem ini mampu mengurangi *Net Present Cost* sebesar \$ 94.033 jika dibandingkan dengan sistem pembangkit listrik yang hanya menggunakan *diesel generator*. Selain itu sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid diesel generator-photovoltaic* dapat menghemat biaya pengeluaran untuk pembelian bahan bakar yaitu sebesar \$ 162.194,-. Untuk *cargo handling* dan *anchoring* digunakan 1 *diesel generator* dengan kapasitas 144 kW.

5.2 Saran

Dalam penelitian tugas akhir ini ada beberapa saran untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkonfigurasi *diesel generator* dengan pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan yang lainnya.
2. Pada penelitian selanjutnya disarankan melakukan perencanaan untuk tata letak seluruh peralatan sistem baru beserta efek terhadap stabilitas kapal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Handayani, N. A. dan Ariyanti, D. 2012. "Potency of Solar Energy Applications in Indonesia". Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Kunaifi. 2010. "Program HOMER Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida Di Propinsi Riau", Seminar Nasional Informatika, FTI UPN "Veteran" Yogyakarta, hal. 18-27.
- Lan, H., Dai, J., Wen, S., Hong Y., Yu D.C., Bai Y. 2015. "Optimal Tilt Angle of Photovoltaic Arrays and Economic Allocation of Energy Storage System on Large Oil Tanker Ship". Energy ISSN 1996 - 1073. 8 (2015), 11515-11530.
- Ma'arif, Firmansyah Putra Agung. 2011. Simulasi Paralel Generator Secara Otomatis pada Kapal STAR-50 BSBC 50,000 DWT dengan Menggunakan Pendekatan Software LabVIEW 8.5. Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Nayar, C. V., dkk. 1993. "Novel Wind/Diesel/Battery Hybrid Energy System". Solar Energy Vol. 51 No.1, pp. 65 -78.
- National Renewable Energy Laboratory. 2017. Homer Energy Modelling Software for Hybrid Renewable Energy System. <URL:<http://www.homerenergy.com>> (diunduh tanggal 11 Januari 2017)
- Putri, Dhear. P. 2016. "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Sel surya dan Diesel Generator) pada Kapal Tanker PT. Pertamina (Persero) Perkapalan". Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Shaahid, S. M. dan El-Amin, I. 2009. "Techno-Economic Evaluation Of Off-Grid Hybrid Photovoltaic–Diesel–Battery Power Systems For Rural Electrification In Saudi Arabia—A Way Forward For Sustainable Development". Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 625–633.
- Sopian, K. dan Othman, M. Y. 2015. "Performance of a Photovoltaic Diesel Hybrid System in Malaysia", Isesco Science and Technology Vision, vol.1, hal. 37-39.
- Supari, dkk. 2012. "Rancang Bangun Sistem Penghemat Energi Berbasis Kecerdasan Buatan pada Mesin Penggerak Kapal Laut untuk Transportasi antar Pulau di Indonesia". Universitas Semarang, Semarang.
- Suriadi & Syukri, M. 2010. Perencanaan PLTS Terpadu Menggunakan Software PVSYST pada Komplek Perumahan di Banda Aceh. Juusan Teknik Elektro, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ali Mustofa dilahirkan di Kediri, 10 Juli 1994. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Sukadis dan Tri Handayani. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di Sekolah Dasar Negeri Purwokerto II, Ngadiluwih pada tahun 2000. Kemudian melanjutkan ke jenjang berikutnya di SMPN 1 Ngadiluwih pada tahun 2007 dan di SMAN 1 Kediri pada tahun 2010. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan di program S1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS .

Di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ini penulis mengambil Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*. Selain kegiatan perkuliahan, penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan seminar dan pelatihan, baik yang diselenggarakan oleh Departemen, Fakultas maupun Institut. Penulis juga aktif sebagai Asisten Praktikum (Grader) pada praktikum Transformator 1 Fasa di Laboratorium *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan Minat Bakat dan Organisasi Mahasiswa Intra kampus. Diantaranya pernah menjadi Staff Lembaga Minat Bakat ITS pada tahun 2014/2015 serta menjadi Kepala Divisi Internal UKM PPS Betako Merpati Putih ITS. Pada tahun berikutnya penulis menjabat sebagai Ketua UKM PPS Betako Merpati Putih ITS periode 2015/2016.

